



Norddeutschland im Klimawandel

Was wissen wir über Klima, Klimawandel
und Auswirkungen in Norddeutschland?



VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM



Norddeutschland im Klimawandel

Was wissen wir über Klima, Klimawandel
und Auswirkungen in Norddeutschland?

Dr. Insa Meinke
Norddeutsches Küsten- und Klimabüro
Helmholtz-Zentrum Geesthacht

Inhalt

KLIMA DER REGION UND EINFLUSS AUF ÖKOSYSTEME

- 01 Klima in Norddeutschland, bisherige Entwicklung und mögliche Änderungen bis 2100
- 02 Stadtklima: Beispiel Hamburg
- 03 Deutsche Nord- und Ostseeküste
- 04 Marine Ökosysteme in Nord- und Ostsee
- 05 Land-Ökosysteme: Böden, Pflanzen und Tiere

AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS IN DER REGION

- 06 Land- und Forstwirtschaft; Fischerei
- 07 Gesundheit
- 08 Energie- und Wasserversorgung
- 09 Migration
- 10 Schifffahrt

REGIONALER KLIMAWANDEL UND GESELLSCHAFT

- 11 Klimawandel in den Medien
- 12 Wahrnehmung des Klimawandels in Norddeutschland
- 13 Klimaschutzpolitik in Städten und Gemeinden
- 14 Technischer Klimaschutz am Beispiel Hamburgs
- 15 Klimawandel und Nachhaltigkeit





Klima der Region und Einfluss auf Ökosysteme



01

Klima in Norddeutschland, bisherige Entwicklung und mögliche Änderungen bis 2100

Mit Beginn der Industrialisierung hat sich das Klima weltweit geändert. Auch in Norddeutschland lässt sich die Klimaänderung anhand von Messdaten nachvollziehen. Regionale Klimaszenarien zeigen, dass durch eine weltweite Verminderung der Treibhausgasemissionen auch in Norddeutschland die künftige Erwärmung auf etwa 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzt werden kann. Werden Treibhausgase jedoch weiterhin im selben Maße wie bisher emittiert, ist mit einer beschleunigten Erwärmung zu rechnen, die bis Ende des Jahrhunderts in Norddeutschland etwa 5 °C erreichen kann.



Das **Klima in Norddeutschland** wird stark durch die Nähe zum Atlantik geprägt. Kennzeichnend sind mäßig warme Sommer und vergleichsweise milde Winter, die jedoch durch häufige starke Winde oft trotzdem als rau empfunden werden. Innerhalb Norddeutschlands ist es in der Deutschen Bucht am wärmsten. In Richtung Südosten nimmt die Jahresmitteltemperatur leicht ab. Jahreszeitliche Temperaturunterschiede sind im Landesinneren größer. So fallen die Sommer hier im Vergleich zur Küste wärmer aus, während die Winter kälter sind.

Auch Niederschlag und Wind sind innerhalb Norddeutschlands und im Jahresverlauf unterschiedlich verteilt. So fällt an der Küste, wie z. B. in Cuxhaven mit 831 mm, deutlich mehr Niederschlag als im Binnenland, wie z. B. in Lüchow mit 557 mm. Im Sommer und zum Teil im Herbst fällt derzeit am meisten Regen. Am wenigsten regnet es im Jahresverlauf im Frühjahr. Im April fällt derzeit an den norddeutschen Messstationen am wenigsten Niederschlag. Auch die Windgeschwindigkeiten nehmen von der Küste hin zum Landesinneren ab. Im jahreszeitlichen Verlauf zeigen die Windmessungen maximale Werte im Winter; am geringsten sind sie im Sommer.

Bereits stattfindende Erwärmung setzt sich künftig fort

Zahlreiche Studien belegen innerhalb des letzten Jahrhunderts eine weltweite Erwärmung, die sich auch in Norddeutschland ausprägt. Im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961–1990 hat sich Norddeutschland bis heute um etwa 0,8 °C erwärmt (vgl. [Norddeutscher Klimamonitor](#)). Die im Hamburger Klimabericht dokumentierten Studien weisen darauf hin, dass sich die Erwärmung in Norddeutschland in den letzten Jahrzehnten bereits beschleunigt hat.

Dabei hat sie sich in allen Jahreszeiten in etwa gleichmäßig vollzogen, außer im Herbst, wo sie bisher etwas weniger stark ausgeprägt ist. Mit der Erwärmung hat sich auch die Häufigkeit von Extremereignissen geändert. Vor allem haben in den Sommermonaten Sommertage (> 25 °C) und heiße Tage (> 30 °C) zugenommen. Im Winter haben hingegen Eis- und Frosttage deutlich abgenommen, wobei letztere auch im Frühjahr deutlich seltener geworden sind. Mit der Erwärmung hat sich auch die thermische Vegetationsperiode deutlich verlängert. Insgesamt ist die Ausdehnung der thermischen Vegetationsperiode hauptsächlich auf eine deutliche Verfrühung des thermischen Vegetationsbeginns zurückzuführen. In diesem Zusammenhang ist vor dem Hintergrund der Spätfrostgefahr der Termin des letzten Frosttages relevant: Dieser hat sich weniger stark verfrüht als

der thermische Vegetationsbeginn. Dadurch hat sich die Spätfrostgefahr in den letzten Jahrzehnten verstärkt.

Alle im Hamburger Klimabericht dokumentierten Studien stimmen darin überein, dass sich die bereits stattfindende Erwärmung im Laufe des 21. Jahrhunderts in Norddeutschland weiter fortsetzen wird. Dies zeigen auch die mehr als 120 ausgewerteten regionalen Klimaszenarien des **Norddeutschen Klimaatlases**. Je nach zukünftigem Treibhausgasausstoß kann sich Norddeutschland bis Ende des 21. Jahrhunderts um etwa 1–5 °C erwärmen. Im optimistischen RCP2.6-Szenario, das eine weltweit erfolgreiche Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen voraussetzt, kann zum Ende des Jahrhunderts eine Stabilisierung der Temperaturänderung im Jahresmittel auf etwa 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau erreicht werden. In anderen Szenarien mit höheren Freisetzungen von Treibhausgasen gelingt dies nicht. Vielmehr ist dann mit einer beschleunigten Erwärmung zu rechnen, die bis Ende des Jahrhunderts in der Hamburger Metropolregion und in Norddeutschland bis +5 °C erreichen kann.

www.norddeutscher-klimamonitor.de

www.norddeutscher-klimaatlase.de



IN DEN LETZTEN JAHRZEHNTE
HAT SICH DIE ERWÄRMUNG
IN NORDDEUTSCHLAND BEREITS
BESCHLEUNIGT. BEI UNGEBREMSTEM
TREIBHAUSGASAUSSTOSS KANN
SICH DIESE ENTWICKLUNG
WEITER VERSTÄRKEN.



**DIE WINTERLICHE NIEDERSCHLAGSZUNAHME
KANN BIS ENDE DES 21. JAHRHUNDERTS
BIS ETWA 40 % BETRAGEN.**

Zunehmender Winterniederschlag, längere Trockenperioden

Die Niederschlagsmenge hat sich in Hamburg und Norddeutschland vor allem im Winter erhöht. Trockenperioden dauern im Frühjahr inzwischen länger an als vor einigen Jahrzehnten.

Für die Zukunft ist vor allem in den Wintermonaten weiterhin mit deutlich erhöhten Niederschlagsmengen zu rechnen. Die winterliche Niederschlagszunahme kann bis Ende des 21. Jahrhunderts bis etwa 40 % betragen. In den übrigen Jahreszeiten ist die künftige Entwicklung der Niederschlagsmenge unklar; hier weisen die regionalen Klimaszenarien für Norddeutschland Trends mit unterschiedlichen Vorzeichen auf. Größte Änderungen sind in den Sommermonaten zu erwarten. Hier ist in Norddeutschland sowohl eine Niederschlagszunahme von 56 % als auch eine Niederschlagsabnahme von 46 % plausibel.

Trockenperioden können sich auch künftig weiter ausdehnen. Im Sommer könnte sich die Dauer von Trockenperioden bis Ende des Jahrhunderts etwa verdoppeln. Insgesamt ist diese Entwicklung jedoch unklar, da es je nach künftigem Treibhausgasausstoß auch zu leichten Verkürzungen sommerlicher Trockenperioden kommen kann.

Auch Starkniederschläge und regenreiche Tage können in Norddeutschland künftig weiter zunehmen.



Anders als oft behauptet, wurde bisher weder bei der mittleren Windgeschwindigkeit noch bei den Stürmen ein Langzeittrend festgestellt. Eine Sturmsaison bringt heute weder heftigere noch häufigere Stürme hervor als vor 100 Jahren. Einen Nachweis für ganzjährig systematisch stärkere Stürme gibt es bisher nicht. Zwar ist seit den 1960er-Jahren eine leichte Zunahme von Sturmhäufigkeit und -intensität zu erkennen, diese bewegt sich jedoch im langfristigen Kontext (100 Jahre) im Rahmen natürlicher Schwankungen. Auch die zukünftige Entwicklung der Sturmaktivität ist aus heutiger Sicht unklar. Einige regionale Klimaszenarien weisen auf eine Zunahme der Sturmhäufigkeit und eine Intensivierung der Stürme hin, andere Szenarien lassen eine Entwicklung zu weniger Stürmen mit geringerer Intensität plausibel erscheinen. Die stärksten Änderungen in der Sturmaktivität Norddeutschlands sind bis Ende des 21. Jahrhunderts in den Wintermonaten zu erwarten. In dieser Jahreszeit kann die Sturmintensität bis 10% zunehmen und die Anzahl der Sturmtage könnte sich nahezu verdoppeln.

Meinke, I., Rechid, D., Tinz, B., Maneke, M., Lefebvre, C., Isokeit, E. (2018), Klima der Region – Zustand, bisherige Entwicklung und mögliche Änderungen bis 2100. In: von Storch, H., Meinke, I., Claußen, M. (Eds.), Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55379-4_2

Open-Access-Publikation unter einer CC-BY-NC-4.0-Lizenz, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>, Material wurde modifiziert.

02

Stadtklima: Beispiel Hamburg

Das Klima in Hamburg ist durch dichte Bebauung, starke Bodenversiegelung, fehlende Vegetation und erhöhte Emissionen im Vergleich zum Umland modifiziert worden. Im Zuge der anhaltenden Modernisierung der Stadt können stadtplanerische Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel erfolgen und Emissionen reduziert werden.



IN DER HAMBURGER INNENSTADT
IST ES BIS ZU 1,2 °C WÄRMER ALS
IM UMLAND.

Das Klima in Hamburg, und mutmaßlich auch in anderen norddeutschen Großstädten, ist im Laufe der Zeit durch die zunehmend dichte Bebauung, starke Bodenversiegelung, geringe Vegetation und erhöhte Emissionen im Vergleich zum Umland modifiziert worden. Diese Modifikationen zeigen sich in Form eines sogenannten Wärmeinseleffektes: Im Stadtgebiet von Hamburg ist es im Durchschnitt etwa 0,1 °C wärmer als im Umland, mit lokalen Spitzenwerten von 1,2 °C in der Innenstadt. Städtische Wärmeinseln prägen sich besonders in ruhigen sommerlichen Nächten bei klarem Himmel aus. Die erhöhten Nachttemperaturen sind von besonderer Bedeutung, da sie die nächtliche Erholung der Bewohner während einer Hitzeperiode erschweren.

Höhere Temperaturen lassen die Sterblichkeit bei längeren sommerlichen Hitzeperioden ansteigen. So kann beispielsweise eine dreistündige starke Wärmebelastung bei gefühlten 32 °C das Sterblichkeitsrisiko und die Häufigkeit von Krankheitsfällen bei über 64-Jährigen mit Atemwegserkrankungen erhöhen, wobei hier auch sozioökonomische Faktoren eine Rolle spielen (vgl. 7. Gesundheit).

Dieser Stadteffekt ändert sich durch den Klimawandel kaum. Jedoch werden Grenzwerte von Temperaturen schneller überschritten, so dass heiße Tage in der Stadt häufiger als im

Umland auftreten. Bei zunehmender Austrocknung vermindert sich zudem der Kühleffekt von Grünflächen.

Der Stadteffekt sollte vor dem Hintergrund des Klimawandels in der Stadtplanung berücksichtigt werden, indem Grünflächen erhalten, die Bewässerung gewährleistet und Wärmeemission sowie Versiegelung vermieden werden. Bezogen auf städtische Wärmeinseln ist hoher Bewuchs in Städten hilfreich, da er Schatten spendet. Allerdings behindert er auch die nächtliche Frischluftherneuerung im Sommer. Nächtliche Kaltluftherneuerung für Stadtbereiche ist zudem an benachbarte größere Grünflächen als Kaltluftentstehungsgebiete bzw. an eine ausreichende Geländeneigung gebunden.

Auch die Niederschlagsverteilung wird durch Städte beeinflusst. So fällt in Hamburg im Lee der Stadt etwa 5–10 % mehr Niederschlag als im übrigen Stadtgebiet. Die leeseitige Niederschlagsserhöhung ist im Winter größer. Höhere Temperaturen in der Stadt und ein erhöhter Anteil von Aerosolteilchen können zudem konvektive Prozesse intensivieren. Die Sommerniederschläge, meist in Form von Gewittern, können lokale Überschwemmungen verursachen, da innerhalb kürzester Zeit auf engem Raum mehr Niederschlag fällt, als normalerweise im gesamten Monat zu erwarten ist. Eine Untersuchung langfristiger Änderungen des städtischen Niederschlages zeigt, dass



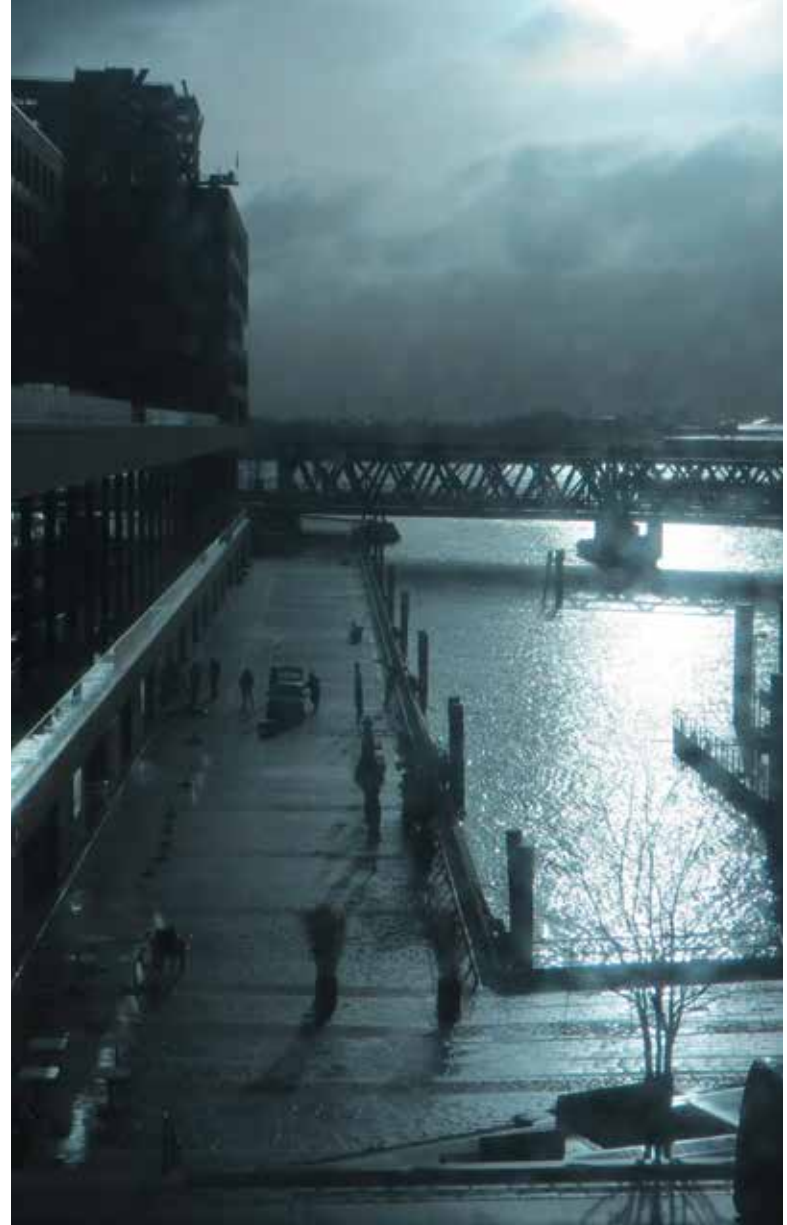
Niederschläge an Luv-Standorten der Stadt mit der Zeit stärker zugenommen haben als an Standorten im Lee. Häufigere Starkniederschläge stellen die städtische Infrastruktur weiterhin vor Herausforderungen, da sie zur Überflutung von Straßen und Häusern oder sogar zum Zusammenbruch der Infrastruktur führen können.

Die Zunahme der Winterniederschläge gegen Ende dieses Jahrhunderts stellt aufgrund der geringeren winterlichen Verdunstung zusätzliche Anforderungen an die Stadtplanung, da bei bereits gesättigten oder versiegelten Böden das überschüssige Wasser in städtischen Gebieten verteilt werden muss. Zudem könnten Konzepte zur Niederschlagsspeicherung zum Ausgleich zukünftig möglicherweise geringerer Niederschläge im Sommerhalbjahr erforderlich werden.

Auch der Wind wird durch städtische Gegebenheiten hinsichtlich Geschwindigkeit und Richtung beeinflusst. Gebiete mit hoher Bebauungsdichte wie die Hamburger Innenstadt und Bereiche westlich der Alster oder in Harburg bzw. Gebiete mit Waldflächen, z. B. im Norden Hamburgs und die Harburger Berge, weisen geringere Windgeschwindigkeiten auf, während Bereiche mit geringeren Bodenrauigkeiten vor allem entlang der Elbmarschen insgesamt höhere Windgeschwindigkeiten zeigen.

Schlünzen, K. H., et al. (2018), Stadtklima in Hamburg. In: von Storch, H., Meinke, I., Claußen, M. (Eds.), Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55379-4_3

Open-Access-Publikation unter einer CC-BY-NC-4.0-Lizenz, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>, Material wurde modifiziert.



03

Deutsche Nord- und Ostseeküste

Steigende Wassertemperaturen und höhere Wasserstände lassen sich schon heute deutlich erkennen – diese Entwicklungen werden sich künftig weiter fortsetzen.



Die Wassertemperatur und der Salzgehalt der **Nordsee** werden durch die großräumige atmosphärische und ozeanografische Zirkulation, durch den Energieaustausch mit der Atmosphäre sowie durch die Süßwassereinträge von Weser und Elbe bestimmt. Kälteste Wassertemperaturen treten im Februar mit derzeitigen (1968–2015) Minima von 3,5 °C auf. Die sommerliche Erwärmung beginnt derzeit im Mai. Im August sind die Oberflächentemperaturen in der Deutschen Bucht am höchsten und erreichen derzeit (1968–2015) maximale Werte von 17,8 °C.

Die Meeresoberflächentemperatur hat sich in der Deutschen Bucht und in der Nordsee in den letzten Jahrzehnten deutlich erhöht. Ein sprunghafter Temperaturanstieg setzte Ende der 1980er-Jahre ein. Der Salzgehalt wird in der Deutschen Bucht stark durch die Abflussmengen der in die Nordsee mündenden Flüsse geprägt. Diese können von Jahr zu Jahr deutlich schwanken. So können schneereiche Winter im Einzugsbereich der großen Flüsse im März/April zu großen Abflussmengen führen. Diese verringern dann den Salzgehalt des Küstenwassers deutlich. Die jährlichen Abflussraten der Elbe (z. B. am Pegel Neu Darchau) schwankten innerhalb der letzten Jahrzehnte stark und weisen bisher keinen eindeutigen Trend auf. Dementsprechend hat sich auch der Salzgehalt in der Deutschen Bucht bisher nicht systematisch verändert.

Für die künftige Entwicklung weisen zahlreiche Studien auf einen weiteren Anstieg der Meeresoberflächentemperatur in der Nordsee hin. Laut derzeit existierenden Studien kann sich die Meeresoberflächentemperatur in der Nordsee bis Ende des 21. Jahrhunderts um 1–3 °C erwärmen. Entsprechend der unklaren Niederschlagsentwicklung und der somit ebenfalls unklaren Entwicklung der Wasserabflussmengen in den Flüssen, die in die Nordsee münden, ist die zukünftige Entwicklung des Salzgehaltes in der Nordsee derzeit ebenfalls unklar.

Der Meeresspiegel ist in der Deutschen Bucht innerhalb der letzten 100 Jahre etwa 15 bis 20 cm angestiegen. Eine ungewöhnliche Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs wurde hier in den letzten Jahrzehnten bisher nicht festgestellt. Dennoch ist ein fortlaufendes Monitoring des Meeresspiegelanstiegs und dessen Geschwindigkeit sehr wichtig, denn selbst bei einem starken künftigen Meeresspiegelanstieg in der Nordsee, z. B. um 2 m bis 2100, könnte die damit einhergehende deutliche Beschleunigung des relativen mittleren Meeresspiegelanstiegs in der Deutschen Bucht voraussichtlich nicht vor den 2020er-Jahren eindeutig detektiert werden. Hohe Wasserstände und Sturmfluten können im Wesentlichen durch den Meeresspiegelanstieg, durch wasserbauliche Maßnahmen und durch ein verändertes Windklima höher auflaufen.



STURMFLUTEN LAUFEN HEUTE
VOR ALLEM DURCH DEN
MEERESSPIEGELANSTIEG HÖHER AUF.

Die Sturmaktivität hat sich in den vergangenen Jahrzehnten nicht systematisch geändert, sondern weist von Jahrzehnt zu Jahrzehnt starke Schwankungen auf. Daher laufen Nordseesturmfluten heute windbedingt nicht systematisch höher auf als vor einigen Jahrzehnten. Abgesehen von den regional sehr unterschiedlichen wasserbaulichen Maßnahmen, sind zunehmende Sturmfluthöhen hauptsächlich auf den Meeresspiegelanstieg zurückzuführen. Außerdem ist wegen des höheren Ausgangsniveaus weniger Wind notwendig, um Wasserstände auf Sturmflutniveau anzuheben. Dadurch hat sich auch die Sturmfluthäufigkeit erhöht (vgl. www.sturmflutmonitor.de). Auch der Seegang ist maßgeblich vom Windklima abhängig. Dementsprechend haben sich die Wellenhöhen in den letzten Jahrzehnten bisher nicht systematisch verändert.

Der Meeresspiegel wird auch künftig weltweit und in der Nordsee weiter ansteigen. Je nach zukünftigem Treibhausgasausstoß kann der globale mittlere Meeresspiegelanstieg bis Ende des Jahrhunderts (2081–2100) etwa 30 bis 80 cm betragen. Aber auch extremere Anstiege sind nicht auszuschließen. Ergebnisse von Studien zu den künftig möglichen Meeresspiegelanstiegen in der Nordsee bewegen sich im Rahmen der globalen Spannbreite. Die künftige Entwicklung von Sturmflutwasserständen hängt neben dem Meeresspiegelanstieg weiterhin maßgeblich von der künftigen Entwicklung des

Windklimas ab. Diese ist, wie zuvor beschrieben, unklar. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass sich bis Ende des 21. Jahrhunderts Sturmintensitäten erhöhen und Stürme häufiger auftreten. Neben dem Meeresspiegelanstieg können Sturmfluten somit künftig auch windbedingt höher auflaufen, bei Nordseesturmfluten insgesamt bis Ende des Jahrhunderts etwa 40–120 cm. Studien über den Seegang zeigen eine Zunahme der höchsten Wellenhöhen für die östliche Nordsee und das Skagerrak und teilweise eine Abnahme in der westlichen Nordsee.

.....

www.sturmflutmonitor.de

Auch an der deutschen **Ostseeküste** hat sich die Wasseroberflächentemperatur erhöht. Diese Erwärmung um 0,6 °C pro Dekade seit Beginn der 1980er-Jahre ist vor allem auf einen Anstieg der Lufttemperatur zurückzuführen. Die stärkste Erhöhung der Wasseroberflächentemperatur ist künftig im nördlichen Teil der Ostsee zu erwarten und kann bis Ende des 21. Jahrhunderts 3–4 °C betragen. Auch die westliche Ostsee wird dieser Entwicklung folgen. Generell folgt die Erhöhung der Wasseroberfläche auch künftig der Entwicklung der Lufttemperatur, so dass die tatsächliche künftige Entwicklung stark von den künftigen Treibhausgasemissionen abhängt. Mit der Erwärmung der Wasseroberflächentemperatur ist auch eine Verringerung der Sauerstofflöslichkeit im Wasser verbunden, so dass sich die Sauerstoffarmut in der gesamten Ostsee ausbreiten wird.

Während das Wasser in der nördlichen Ostsee extrem salzarm ist, nimmt der Salzgehalt zur Nordsee hin (Großer Belt, Kattegat) zu. Bei Salzwassereinbrüchen strömt salzreiches Nordseewasser in die Ostsee und dringt hier bis in die Lübecker Bucht und das Arkonabecken vor. In den letzten 25 Jahren hat der Salzgehalt in der Ostsee abgenommen, wobei dies auf das seltene Auftreten der Salzwassereinbrüche zurückzuführen ist. Künftig erscheint aber eine weitere Abnahme des Salzgehaltes durch erhöhte Niederschlagsmengen über dem Ostsee-Einzugsgebiet plausibel.

Im letzten Jahrhundert ist der mittlere Wasserstand in der südwestlichen Ostsee um etwa 15 cm angestiegen. Wasserstandsauswertungen auf Basis stündlicher Daten reichen nur bis in die 1950er-Jahre zurück. Seitdem treten Sturmfluten an der deutschen Ostseeküste nicht systematisch häufiger auf. Auch höchste Sturmflutwasserstände haben sich in diesem Zeitraum nicht nennenswert verändert. Dauer und Intensität der Ostseesturmfluten haben sich an der deutschen Küste in den letzten Jahrzehnten etwas verringert, wobei diese Entwicklung bisher nur in Travemünde als statistisch signifikant zu werten ist (vgl. www.sturmflutmonitor.de).

Wie bereits beschrieben, kann sich der Meeresspiegel bis Ende des 21. Jahrhunderts (2081–2100) im Vergleich zur Gegenwart (1986–2005) um weitere 30–80 cm erhöhen. In der Ostsee erfolgt zudem eine Überlagerung durch nacheiszeitliche Ausgleichsbewegungen der Erdkruste, durch die der künftige relative Meeresspiegelanstieg in der Ostsee je nach Region deutlich von den Werten des projizierten globalen mittleren Meeresspiegelanstiegs abweichen kann.

Die zukünftigen Sturmflutwasserstände können, hauptsächlich durch den mittleren Meeresspiegelanstieg bedingt, Ende des 21. Jahrhunderts etwa 30–80 cm über den heutigen Wasserständen liegen. Unter zusätzlicher Berücksichtigung der



AUCH AN DER DEUTSCHEN OSTSEEKÜSTE
HAT SICH DAS WASSER IN DEN
OBEREN SCHICHTEN ERWÄRMT UND
DIE WASSERSTÄNDE HABEN SICH ERHÖHT.

nacheiszeitlichen Landhebung an unseren Küsten kann eine weitere Zunahme der Sturmflutwasserstände um etwa 20 cm erwartet werden.

www.sturmflutmonitor.de

Klein, B., et al. (2018), Deutsche Bucht mit Tideelbe und Lübecker Bucht. In: von Storch, H., Meinke, I., Claußen, M. (Eds.), Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55379-4_4

Open-Access-Publikation unter einer CC-BY-NC-4.0-Lizenz, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>, Material wurde modifiziert.

04

Marine Ökosysteme in Nord- und Ostsee

Die Dynamik der Ökosysteme der Nordsee, des Wattenmeeres, des Elbeästuars und an der deutschen Ostseeküste wird durch klimabedingte Faktoren wie Temperatur, Niederschlag oder Meeresströmungen beeinflusst. Durch den Klimawandel sind bereits heute Veränderungen der physikalischen, chemischen und biologischen Faktoren zu beobachten. Die tatsächliche Auswirkung ist aber meistens komplex, weil mehrere dieser natürlichen Faktoren mit menschlichen Aktivitäten wie CO₂-Ausstoß, Fischerei, wasserbaulichen Maßnahmen oder Verschmutzung miteinander in Wechselwirkung stehen.



Die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten sind an der Küste am größten und nehmen zum offenen Meer hin ab, während der Einfluss klimaabhängiger Faktoren wie Temperatur oder Meeresströmungen zunimmt. Marine Ökosysteme unterliegen auf lange Sicht nicht nur starken Schwankungen, sondern können sich auch sprunghaft ändern.

Steigende Wassertemperaturen, veränderte Lichtbedingungen und Fischerei haben eine deutliche Auswirkung auf das Ökosystem der **Nordsee**. Bakterien und freischwebende Algen (Plankton), Muscheln, Krebse (Makrobenthos) und Fische bis hin zu Robben sind alle Bestandteil des marinen Nahrungsnetzes. Jede Veränderung bei einer Art kann Auswirkungen auf die anderen Mitglieder des Nahrungsnetzes haben. Das Plankton (in der Strömung treibende Kleinstlebewesen) entwickelt sich durch bessere Lichtbedingungen und höhere Temperaturen früher im Jahr. Das Makrobenthos (am Meeresboden lebende Organismen) und das Artenspektrum der Fische in der Nordsee weisen durch die Erwärmung vermehrt südliche, wärmeliebende und seltener kälteliebende Arten auf. Ein Beispiel für das Auftreten von neuen Arten in der Nordsee ist die Trapezkrabbe. Wassertemperaturen von mehr als 5,5 °C im Winter haben ihre Etablierung in der Nordsee begünstigt. In der Nordsee traten abrupte Änderungen vor allem am Ende der 1980er-Jahre auf. Die damals gerade eingewanderte



**VIELE QUALLEN SIND GEGENÜBER
GLOBALEN WANDLUNGSPROZESSEN
UNEMPFINDLICH UND
KÖNNTEN VERSTÄRKT AUFTRETEN.**

Rippenqualle hat sich scheinbar ohne negative Folgen im Ökosystem etabliert. Die im Vergleich zu Fischen höhere Toleranz vieler Quallen gegenüber Sauerstoffmangel, erhöhter Wassertemperatur und zunehmender Versauerung kann dazu führen, dass sie als Gewinner der globalen Wandlungsprozesse hervortreten. Der Fischbestand der Nordsee wird nach wie vor am stärksten durch die Fischerei bestimmt. Unter dem Einfluss des Klimawandels reagieren Fischbestände empfindlicher auf Fischereidruck.

Neben der Dezimierung des Laichbestandes übt Fischerei durch die Fokussierung auf große Tiere einen Selektionsdruck auf Fischpopulationen aus. So können sich z. B. Fische, die früher und bei kleinerer Größe zur Geschlechtsreife gelangen, bevorzugt fortpflanzen und verändern so den Genpool. Dies kann jedoch negative Auswirkungen auf die Anpassungsfähigkeit des Fischbestandes an Umweltveränderungen haben. Der Klimawandel könnte sich zukünftig auch indirekt auf die Fischbestände der Nordsee auswirken, da durch die Ansiedlung der Offshore-Windparks als Bestandteil der Energiewende vermehrt künstliche Hartsubstrate in die Nordsee eingebracht werden. So werden u. a. Lebensräume für Arten geschaffen, die sonst nicht in den betreffenden Gebieten vorkommen würden. Da Fischerei in diesen Gebieten weitgehend untersagt ist, kann sich diese Entwicklung zusätzlich verstärken.

In einem wärmeren **Wattenmeer** können höhere Stoffumsätze zu einer erhöhten Produktivität führen. Weiter sinkende Nährstofffrachten der Flüsse infolge der Umsetzung von EU-Umweltgesetzen wirken dem entgegen. So sind infolge der Abnahme der Nährstofffrachten durch Rhein, Maas, Weser, Ems und Elbe Algenblüten und Biomasse im Wattenmeer vor allem im Sommer zurückgegangen. Unklar ist, wie die Klimaänderung die Abflussmengen und damit auch die Nährstofffrachten künftig ändern wird. Dementsprechend wird die Reaktion des Wattenmeerplanktons auf den Klimawandel komplex sein und auch davon abhängen, wie sich Umweltpolitik und Klimaänderung auf die Nährstoffflüsse auswirken werden. Langfristig werden sich heimische kälteliebende Arten in höhere Breiten zurückziehen, während Organismen aus südlicheren Gebieten ihr Verbreitungsareal nach Norden ausdehnen. Globaler Schiffsverkehr und Aquakultur führen zu einem steten Einstrom von Organismen ferner Küstenlebensräume, die sich weiterhin im Wattenmeer etablieren. Schon zu Beginn des Zweiten Weltkrieges wurden mit den Kriegsschiffen Arten eingeschleppt, die das Ökosystem des Wattenmeers veränderten. Ein Beispiel dafür ist die Australische Seepocke, deren geringe Populationsstärke zunächst durch die kalten Winter immer wieder dezimiert wurde. Eine Reihe warmer Sommer und milder Winter bewirkte dann aber eine exponentielle Zunahme ihres Vorkommens.

Ähnliche Entwicklungen zeigen andere eingeschleppte Arten, die von den ansteigenden Temperaturen profitieren und mit einem anschließenden Massenvorkommen reagieren. Dazu gehören die Pazifische Auster und die Amerikanische Pantoffelschnecke. Bis zum Jahr 2010 wurden 66 exotische Arten durch menschliche Aktivitäten vor allem aus wärmeren Meeresgebieten eingeschleppt. Pro Jahr etablieren sich heute etwa ein bis zwei neue bodenlebende Arten dauerhaft im Wattenmeer. Das ist etwa das Dreifache der neuangesiedelten Arten im Vergleich zur ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts.

Entsprechend den nordseeweiten Beobachtungen verschieben sich auch im Wattenmeer klimabedingt die Verbreitungsgebiete bestimmter Fischarten. So konnte eine starke Abnahme der kälteliebenden Aalmutter bei gleichzeitiger Zunahme des wärmeliebenden Wolfsbarsches nachgewiesen werden. Auch im Wattenmeer ist selten ausschließlich der Klimawandel für tiefgreifende Veränderungen des Fischbestandes verantwortlich. Die Kombination von Überfischung und Klimaveränderungen, die in der Nordsee zu einem alternativen Ökosystemzustand führt, wirkt sich bis ins Wattenmeer aus.

Offen ist nach wie vor die Frage, ob das Wattenmeer genügend Sediment aus der Nordsee importieren kann, um mit dem Anstieg des Meeresspiegels Schritt halten zu können.



JEDES JAHR ETABLIEREN SICH NEUE
ARTEN DAUERHAFT IM WATTENMEER.
DER KLIMAWANDEL VERSTÄRKT
DIESE NEUANSIEDLUNGEN.

Sollte das nicht der Fall sein, werden wichtige Lebensräume, wie Seegraswiesen im Gezeitenbereich und Salzmarschen, verschwinden. Sie stellen wichtige Lebensräume für zahlreiche Fischarten dar, so dass ihr Verschwinden das Ökosystem des Wattenmeeres grundlegend verändern würde.



WÄCHST DAS WATT MIT DEM
MEERESSPIEGELANSTIEG?

Flussmündungen (Ästuarie) wie die Tideelbe sind weltweit stark vom Menschen beeinflusst. Gleichzeitig sind sie von hohem ökologischen Wert für zahlreiche Pflanzen- und Tierarten. Dieser wird durch Deichbau und Landgewinnung, durch Befestigung der Ufer mit Steinschüttungen, durch Vertiefungen von Fahrrinnen und durch die Verbringung des Sediments sowie durch Belastung durch chemische Substanzen beeinträchtigt. Es ist zu erwarten, dass ein Temperaturanstieg sowohl die Algenblüte in der Elbe als auch das Sauerstoffdefizit verstärken wird. Im Hamburger Hafenbereich wird der künftige Temperaturanstieg die jetzige Sauerstoffproblematik weiterhin verstärken. Es ist zudem anzunehmen, dass die Zahl eingeschleppter Arten auch im Elbeästuar zunehmen wird. Eine Zunahme der Sauerstoffmangelsituationen wird die Fischwanderungen beeinträchtigen. Änderungen des Salzgehaltes können zur Verringerung von Laicharealen und Aufwuchsgebieten bestimmter Arten führen. Als Folge des Meeresspiegelanstiegs ist auch eine Verschiebung der oberen Brackwassergrenze stromaufwärts zu erwarten. Eine Zunahme der Anzahl mariner Fischarten stromauf und eine entsprechende Abnahme bei limnischen Fischarten stromab wären eine mögliche Folge. In welchem Maße sich der Klimawandel zukünftig tatsächlich auf die Fischgemeinschaft der Elbe auswirken wird, ist auch weiterhin maßgeblich von menschlichen Aktivitäten abhängig, welche die Anpassungsmöglichkeiten der Fische beeinträchtigen oder fördern können.



In der **Ostsee** wird die Erwärmung zu weniger Eisbedeckung im Winter und zu höheren Temperaturen im Sommer führen. Muscheln werden zurzeit durch das Eis vor dem Fraß durch die Eisente geschützt. Bei abnehmender Eisbedeckung können Eisenten mehr Muscheln fressen, so dass mit einem Rückgang der winterlichen Muschelbiomasse zu rechnen ist. Die Erwärmung der Ostsee kann eine frühere Algenblüte im Frühjahr sowie eine höhere Phytoplanktonproduktivität und mehr Blaualgen im Sommer zur Folge haben. In Verbindung mit dem Temperaturanstieg steigt auch die Gefahr, dass nicht nur toxische Blaualgen deutlich häufiger auftreten, sondern auch Krankheitserreger (pathogene Vibrionen). Diese Bakterien können bei immungeschwächten Personen mit offenen Wunden zum Tod führen.

Das generelle Muster einer nördlichen Verschiebung der geografischen Artverbreitung im Atlantik wird in der Ostsee durch den Salzgehalt eingeschränkt. Dieser begrenzt die Verbreitung mariner Arten. Der Lebensraum mariner Fischarten könnte sich bei abnehmendem Salzgehalt ostseeweit verkleinern, während Arten, die an Süßwasser angepasst sind, ein potenzielles größeres Verbreitungsgebiet fänden. In dem Zeitraum von 1988 bis 1993 ähnelte der Zustand der Ostsee den Bedingungen, die Szenarien zur künftigen Klimaentwicklung als plausibel erscheinen lassen, mit geringen Salz- und

Sauerstoffgehalten und relativ hohen Wassertemperaturen. Dies führte zu einem Umschlagen vom Dorsch- zum Sprottenregime.

Die Veränderungen werden aber auch von vielen anderen Faktoren wie der Eutrophierung oder dem Fischereidruck abhängen. Unmittelbar verändern wird sich insbesondere der pH-Wert, der aufgrund des Anstiegs der globalen CO₂-Konzentration der Luft deutlich abnehmen wird.

van Beusekom, J., et al. (2018), Aquatische Ökosysteme: Nordsee, Wattenmeer, Elbeästuar und Ostsee. In: von Storch, H., Meinke, I., Claußen, M. (Eds.), Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55379-4_5

Open-Access-Publikation unter einer CC-BY-NC-4.0-Lizenz, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>, Material wurde modifiziert.

05

Land-Ökosysteme: Böden, Pflanzen und Tiere

Sauberes Grundwasser, Bestäubung von Obstbäumen oder Hangstabilität sind für uns essenzielle Ökosystemleistungen. Eine Beeinträchtigung ihrer Funktionalität und Stabilität hätte tiefgreifende Konsequenzen für Wirtschaft und Gesellschaft.



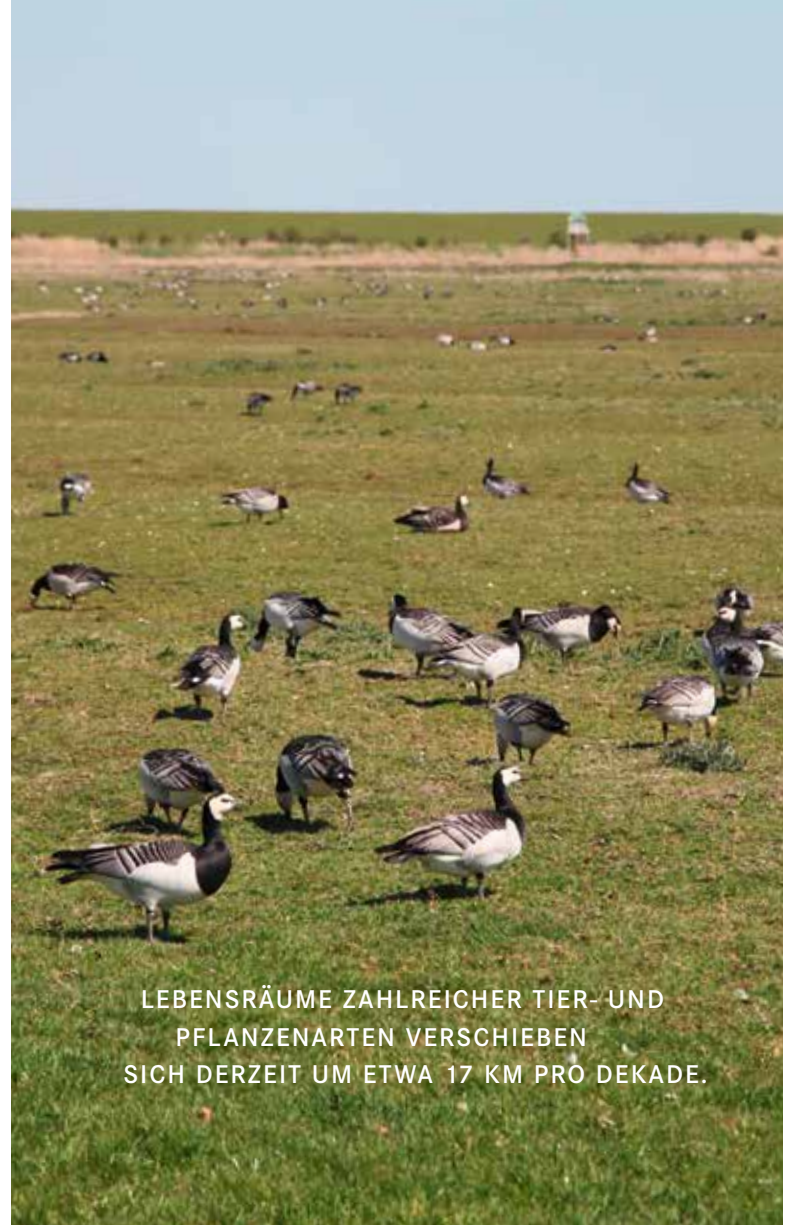
Klimaänderungen haben in der Erdgeschichte immer tiefgreifende Konsequenzen für Ökosysteme gehabt. Die Wälder Nord- und Mitteleuropas wurden beispielsweise während der Eiszeiten mehrfach massiv zurückgedrängt und mussten sich in den Warmzeiten jeweils neu etablieren, was zu großen Artenverlusten führte. Die ökologische Anpassung an solche Klimaänderungen beanspruchte einen Zeitraum von Jahrtausenden. Der anthropogene Klimawandel vollzieht sich deutlich schneller. Auch aufgrund der unterschiedlichen ökologischen Rahmenbedingungen können die Erkenntnisse aus der erdgeschichtlichen Entwicklung kaum auf die aktuelle und zukünftige Vegetationsdynamik übertragen werden. Wegen des hohen Komplexitätsgrades der Biosphäre können bisher keine konkreten Auswirkungen des Klimawandels auf Ökosysteme vorhergesagt werden. Allenfalls lassen sich großräumige Übersichten über die Verschiebung von Vegetationszonen und die Biomasseentwicklung ableiten.

Böden werden maßgeblich durch Temperatur und Niederschlag beeinflusst. Erwärmung und Niederschlagsänderungen wirken sich auf den Wasser- und Wärmehaushalt der Böden aus, steuern die Aktivität der Bodenorganismen und beeinflussen den (Nähr-)Stoffhaushalt.

Die Auswirkungen unterscheiden sich jedoch je nach Bodentyp und -eigenschaften. Böden mit geringem Wasserspeichervermögen und geringer Wasserleitfähigkeit sind besonders trockenheitsgefährdet. Die gute Wasserspeicherefähigkeit der Marschen würde auch bei abnehmendem Niederschlag eine gute Wasserversorgung und -nachlieferung ermöglichen. Auf den Auenböden der Elbe kann sich jedoch bei einer möglichen Zunahme der Sommertrockenheit Trockenstress für Pflanzen vor allem in den Monaten Juli bis November deutlich ausprägen. Niederschlagszunahmen führen an wasserdurchlässigen Geeststandorten zu erhöhter Grundwasserneubildung und erhöhter Verlagerung von Stoffen (auch Schadstoffen). Zudem ist vor allem bei sandigen Böden mit einer erhöhten winterlichen Nitratverlagerung und -auswaschung zu rechnen. Bei weniger wasserdurchlässigen Böden können Vernässung und Stauwasserbildung zunehmen, durch die Bodenverdichtung und Erosion begünstigt werden. Generelle Bodenschutzmaßnahmen gegen die Auswirkungen des Klimawandels lassen sich nicht ableiten, da die Wechselwirkungen je nach Standort zu unterschiedlich sind.

Vor dem Hintergrund des Klimawandels sollte generell angestrebt werden, die Kohlenstoffspeicherfunktion der Böden zu erhalten bzw. diese wiederherzustellen. Dies kann erreicht werden, indem großflächige Grundwasserabsenkungen, Abtorfungen und die landwirtschaftliche Nutzung von Mooren vermieden werden. Hoch- und Niedermoore sollten geschützt bzw. regeneriert werden. Böden, die leicht abgetragen werden (Erosionsgefährdung durch Wind und Wasser), sollen durch eine angepasste Landnutzung besser geschützt werden. Insbesondere sollten Böden geschützt werden, die zur Kühlung der unteren Luftschichten in Städten beitragen. Hier sollten Bebauung und Flächenversiegelung vermieden werden.

Der Lebenszyklus der **Tier- und Pflanzenwelt** ist in den mittleren Breiten maßgeblich von Temperatur und Licht abhängig. Zeitliche Verschiebungen des Blattaustriebs, der Knospung, der Blüten- und Fruchtbildung, von Beginn und Ende des Winterschlafs, Vogelzugterminen oder der herbstlichen Blattverfärbung sind nur einige Beispiele für die Reaktionen der Tier- und Pflanzenwelt auf klimatische Trends. In den letzten 50–70 Jahren haben sich die Vegetationsperioden in den mittleren Breiten der Nordhalbkugel um 14–24 Tage verlängert. Dies ist hauptsächlich auf einen früheren Vegetationsbeginn zurückzuführen. Diese frühere Pflanzenentwicklung ist sowohl bei Wild- als auch bei Kulturpflanzen zu beobachten.



LEBENSÄUERE ZAHLEICHER TIER- UND
PFLANZENARTEN VERSCHIEBEN
SICH DERZEIT UM ETWA 17 KM PRO DEKADE.

Süßkirsche, Birne, Sauerkirsche und Apfel fangen heute etwa zwei Wochen früher an zu blühen als in den 1970er-Jahren und der Erntetermin für Gerste und Winterweizen hat sich im selben Maße verschoben.

Der Klimawandel wird sich zwangsläufig auch auf die verschiedensten biotischen Wechselwirkungen, Beziehungen und Abhängigkeiten auswirken. Hierzu zählen u. a. die Bestäubung, aber auch Parasitismus und verschiedene Räuber-Beute-Beziehungen. Die zeitliche Entkoppelung der interagierenden Arten kann gravierende Änderungen in den Nahrungsnetzen bewirken. Beispielsweise ist die zeitliche Abstimmung von Tieren und ihren Nahrungspflanzen nicht mehr gegeben, weil Pflanzen früher austreiben, als Tiere aktiv werden, oder umgekehrt. Solche gravierenden Änderungen in Nahrungsnetzen können oft erst durch evolutive Anpassungen ausgeglichen werden. Andererseits können durch die zeitliche und räumliche Verschiebung neue Nahrungsbeziehungen zwischen Schädlingen und Wirtspflanzen entstehen.

Bereits heute werden deutliche Verschiebungen der Lebensräume zahlreicher Tier- und Pflanzenarten beobachtet. Die Geschwindigkeit dieser Arealverschiebungen liegt bei etwa 17 km pro Dekade. Der Klimawandel begünstigt darüber hinaus die Etablierung bisher unbeständig auftretender nichtheimi-



scher Arten. Nichtheimische wärmeliebende Gehölze wie Lorbeerkirsche oder Walnussbaum zeigen im Bereich städtischer Wärmeinseln starke Ausbreitungstendenzen, so beispielsweise auch in Hamburg.

Der Klimawandel trägt auch maßgeblich zum Rückgang von Bestäubern bei, da er sich in vielfältiger Weise, in der Regel negativ, auf die Wechselwirkung zwischen Blütenpflanzen und Bestäubern auswirkt. Die Bestäubung stellt eine der wichtigsten ökologischen Serviceleistungen dar, denn 60–80 % der Wildpflanzen und etwa 35 % der Feldfrüchte sind von Bestäubern abhängig.



Für den verbreitet zu beobachtenden Rückgang von Honigbienen sind Faktoren wie Pestizideinsatz, Krankheiten und Stress bzw. deren Kombination relevanter als der Klimawandel. Der Klimawandel erhöht jedoch innerhalb dieses Faktorenkomplexes die Sensitivität gegenüber anderen Einflüssen.

Auch das Artenspektrum der Wälder wird sich ändern. Dabei sind nachteilige Auswirkungen auf die Holzzuwächse zukünftig insbesondere auf Standorten zu erwarten, auf denen schon heute Hitze und Trockenheit das Wachstum begrenzen. Auf bisher wärmelimitierten Standorten dürfte es dagegen bei ausreichender Wasserversorgung zu Zuwachssteigerungen kommen. Die Wälder Mitteleuropas sind derzeit eine bedeutende Senke für Kohlenstoff. Vermehrter Trockenstress in den Sommermonaten würde die Kohlenstoffspeicherung jedoch einschränken und könnte die Wälder zu einer CO₂-Quelle werden lassen.

Schickhoff, U., Eschenbach, A. (2018), Terrestrische und semiterrestrische Ökosysteme. In: von Storch, H., Meinke, I., Claußen, M. (Eds.), Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55379-4_6

Open-Access-Publikation unter einer CC-BY-NC-4.0-Lizenz, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>, Material wurde modifiziert.



Auswirkungen des Klimawandels in der Region



06

Land- und Forstwirtschaft; Fischerei

Durch die Freisetzung von Treibhausgasen (Methan, Kohlendioxid und Lachgas) trägt die Landwirtschaft zur Erhöhung der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre bei und zählt mit zu den bedeutendsten Verursachern. Die wichtigsten Quellen der landwirtschaftlichen Treibhausgasemission sind Viehhaltung, landwirtschaftlich genutzte Böden sowie der Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden. Andererseits wirkt sich der Klimawandel vielfach auf Land- und Forstwirtschaft aus, so dass Anpassungen an die veränderten Bedingungen notwendig sind.



Anpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen wirken sich oft gegensätzlich aus. Die Auswirkungen der verschiedenen Maßnahmen, wie z. B. der Anbau klimaangepasster Sorten, die Erhöhung des Kohlenstoffspeichers von Wäldern durch Nutzungsverzicht oder der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen statt von Lebensmitteln, werden derzeit kontrovers diskutiert.

Die Verwendung von Stickstoffdünger zählt zu den bedeutendsten **landwirtschaftlichen Emissionsquellen** von Treibhausgasen. Eine Verminderung dieser Emissionen kann erreicht werden, indem u. a. die Ausbringungstechnik, die Düngemenge und der Düngezeitpunkt optimiert werden. Zudem könnten landwirtschaftliche Treibhausgasemissionen in der Viehhaltung reduziert werden, indem z. B. die Milchleistung von Kühen gesteigert wird, so dass der emittierten Treibhausgasmenge eine höhere Produktmenge gegenübersteht, wobei zu bedenken ist, dass dieses Potenzial schon heute an Grenzen stößt und oft nicht mit dem Tierwohl zu vereinbaren ist. Auch ökologische Landwirtschaft wird häufig als Möglichkeit zur Reduzierung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen beschrieben. Durch den Verzicht auf mineralischen Stickstoffdünger und Pestizide sowie durch den geringeren Viehbesatz werden die Treibhausgasemissionen gegenüber der traditionellen Landwirtschaft verringert. Auch die Erzeugung der Futtermittel im Betrieb vermeidet Transportemissionen und Emissio-

nen durch Landnutzungsänderungen in den Erzeugerländern von Futtermitteln. Die flächenbezogenen Stickoxidemissionen sind beim ökologischen Landbau signifikant niedriger als beim traditionellen Landbau. Werden die Stickoxidemissionen aber auf Produktmengen bezogen, schneidet der traditionelle Landbau signifikant besser ab.

Im Gegensatz zur Landwirtschaft ist die Forstwirtschaft eine Senke von Treibhausgasen, da sie Kohlendioxid speichert. Durch die Nutzung von Holz als Energieträger wird im Gegensatz zu fossilen Energieträgern kein zusätzliches CO₂ in den globalen Kohlenstoffkreislauf eingebracht, sondern Kohlenstoff im System Atmosphäre–Wald–Holzprodukte verlagert. Daher stellt die energetische Substitution ein bedeutendes Minderungspotenzial dar.



Der **Klimawandel wirkt** sich schon heute auf die Standortfaktoren aus und beeinflusst somit den Anbau von Kulturpflanzen und die Tierhaltung. Durch die veränderte Ausbreitung von Krankheitserregern muss der Pflanzenschutz entsprechend angepasst werden. Zudem kann es zu Veränderungen im Bewässerungsbedarf und in der Bodenfruchtbarkeit kommen. Diese Faktoren können zu Ertrags- und Gewinneinbußen führen und so das Risiko der landwirtschaftlichen Produktion erhöhen.

Das Zusammenspiel von Niederschlag, Wasserhaltekapazität des Bodens und Verdunstung ist entscheidend für eine ausreichende Wasserversorgung der Pflanzen: Weniger oder gleichbleibender Niederschlag in Kombination mit einer durch höhere Temperaturen gesteigerten Verdunstung führen dazu, dass der Wassergehalt des Bodens absinkt. Infolgedessen kann es bei Pflanzen zu Wassermangel kommen.

Die beobachtete Erwärmung hat bereits zu einem deutlich früheren Blühbeginn von Obstgehölzen geführt. Im Alten Land blühen die Obstgehölze heute etwa zwei Wochen früher als Mitte der 1970er-Jahre. Mit dem früheren Blühbeginn haben sich auch die Erntezeiten auf einen früheren Termin verschoben. Durch mildere Winter wird die Frosthärte der Bäume verringert. Dies kann zu einer Zunahme von Spätfrostschäden

führen. Durch wärmere Phasen im Winter kann der Stoffwechsel von Bäumen während der Winterruhe aktiviert werden. Dies erzeugt physiologischen Stress und wirkt sich negativ auf die Vitalität der Bäume aus. So müssen Obstgehölze über einen längeren Zeitraum kühleren Temperaturen zwischen ca. 3 und 10 °C ausgesetzt sein, um die Blütenbildung auszulösen. Gerade in den wintermilden nordwestlichen Regionen Deutschlands kann dieser Kältereiz, der zur Überwindung der Winterruhe unerlässlich ist, im Zuge des Klimawandels erst später erfüllt sein. Zu hohe Herbst- und Wintertemperaturen stören diesen Prozess und führen zu einem unregelmäßigen und verspäteten Blühbeginn.

Unter den Getreidearten stellt Weizen die höchsten Ansprüche an die klimatischen Bedingungen. Er verlangt wintermildes und sommerwarmes Klima mit hoher Strahlungsintensität sowie eine ausreichende Wasserversorgung während der Vegetationszeit. Wintergerste ist weniger hitzeempfindlich als Winterweizen. Im Vergleich zu Winterweizen ist der Wasserverbrauch der Gerste geringer, da ein größerer Teil der vegetativen Entwicklung im Herbst und Winter erfolgt.

Sofern kein Mangel an Licht, Wasser und Nährstoffen besteht, wirkt die erhöhte CO₂-Konzentration stimulierend auf das Wachstum von sogenannten C₃-Pflanzen.



BEI ZUNEHMENDER TROCKENHEIT
WIRD SICH DIE EICHE WAHRSCHEINLICH
AM BESTEN ANPASSEN.

Zu diesen Pflanzen zählen Bäume und die meisten landwirtschaftlichen Kulturpflanzen wie z. B. Getreide oder Hackfrüchte. Hingegen reagieren C_4 -Pflanzen wie Mais unter stark erhöhten CO_2 -Konzentrationen mit verringerter Biomasseproduktion.

In Norddeutschland sind Kiefern, Eichen, Buchen und Fichten die häufigsten und somit für die Forstwirtschaft relevantesten Baumarten. Buchen wachsen im nordwestdeutschen Küstenraum auf nährstoffarmen und trockenen Dünensanden, obwohl diese Böden nicht zu ihren bevorzugten Standorten gehören. Die Buche kann aufgrund ihrer hohen Trockenstresstoleranz auch trockene Phasen überstehen. Eine dichtere Abfolge von Trockenjahren könnte jedoch zur Destabilisierung von Buchenwäldern führen.

Eichen finden optimale Wachstumsbedingungen auf tiefgründigen, frischen bis feuchten Böden. Sie gedeihen aber auch gut auf trockenen Böden und vertragen sommerliche Trockenzeiten meist ohne Schaden. Bei zunehmender Trockenheit wird sich die Eiche wahrscheinlich gegenüber anderen Baumarten am besten anpassen, da sie sich aufgrund ihrer tiefreichenden Pfahlwurzel zunehmend auf den Trockengebieten Norddeutschlands ausbreiten könnte. Von einem wärmeren Klima würden aber auch andere wärmetolerante Baumarten wie Hainbuche oder Sommerlinde profitieren.

Kiefern haben derzeit das höchste Ausbreitungsgebiet aller heimischen Baumarten, da sie eine hohe klimatische Anpassungsfähigkeit besitzen (9–20 °C Sommertemperatur, 400–2500 mm Jahresniederschlag, 0–20 °C Wintertemperatur). Daher wird sie auch in Zukunft eine Hauptbaumart bleiben.

Fichten verfügen hingegen über ein vergleichsweise schlechtes Anpassungspotenzial. So wurden im Trockensommer 2003 bei der Fichte im Vergleich zu anderen Baumarten die größten Zuwachsrückgänge beobachtet. In der Hamburger Metropolregion wächst die Fichte bereits heute außerhalb ihres potenziellen Areals. Durch die Zunahme warm-trockener Sommer würde die Region zu einem ungünstigen Standort für den Fichtenanbau werden.

Die Klimaänderungen könnten auch Folgen für das Auftreten von Krankheiten, Pflanzenschädlingen und in der Landwirtschaft für Unkräuter haben und zu Ertragseinbußen oder gar zum Ausfall ganzer Kulturen oder Bestände führen. Zwischen Pathogenen (Viren, Bakterien, Pilze), Überträgern (Zwischenwirte) und Wirtspflanzen bestehen komplexe Wirkungsbeziehungen, die durch den Klimawandel beeinflusst werden können. Durch wärmere Sommer und verlängerte Vegetationsperioden nimmt die Lebensaktivität von Schadorganismen zu.



**AUCH SCHÄDLINGE UND KRANKHEITSERRGER
NEHMEN MIT DER ERWÄRMUNG ZU.
NEU ANGESIEDELTE KONKURRENZSTARKE
PFLANZEN BREITEN SICH AUF
ACKERFLÄCHEN AUS UND FÜHREN ZU
ERNTEEINBUSSEN.**

In milderen Wintern sinkt die Mortalitätsrate von Schädlingen, was im Folgejahr zu höheren Befallsdichten führen kann.

Trockene Sommer können sich mindernd auf Schäden durch Pilzkrankheiten auswirken, da Pilze in ihrer Entwicklung auf feuchte Bedingungen angewiesen sind. Veränderte Klimabedingungen fördern auch die Ansiedlung neuer, aus anderen Erdteilen stammender Pflanzen, sog. Neophyten. Verfügen diese über eine hohe Konkurrenzstärke und über hohe Reproduktionsraten sowie über Herbizid-Unempfindlichkeit, können sie schnell Ackerflächen oder Grünland besiedeln und zu Ernteeinbußen führen.

Fischerei

Die Nordsee ist eines der wichtigsten Fischereigebiete der Welt. Rund 27 % der Anlandungen in Deutschland stammen aus der Nordsee. Die kommerzielle **Fischerei** der Nordsee wird überwiegend von Norwegen, Großbritannien, Dänemark, Russland, den Färöern, den Niederlanden sowie in geringerem Maße von Deutschland, Schweden, Frankreich und Belgien betrieben.

Von Bedeutung sind in der Hochseefischerei vor allem Hering, Makrele und Wittling, in der Kutter- und Küstenfischerei Seelachs und Krabben. Die Erwärmung hat in Nordwesteuropa generell zu einer Zunahme von Warmwasserarten aus südlichen Gebieten geführt. Nördliche Kaltwasserarten sind dagegen in der Nordsee seltener geworden. Typisch für diese Entwicklung ist die Änderung der Fischgemeinschaften von einer Dominanz durch Arten wie den Hering und die Sprotte hin zu einer Dominanz von Warmwasserarten wie Makrele, Sardine und Sardelle. Die größten Fänge des Kabeljaus wurden in den letzten Jahrzehnten immer weiter im Nordosten der Nordsee und damit auch in tieferen Gewässern erzielt, während Scholle in zunehmendem Maße im Nordwesten der Nordsee gefangen wird. In der südlichen Nordsee gewinnen hingegen die Meerbarbe und der Wolfsbarsch für die Fischerei an Bedeutung.



KLIMABEDINGTE ÄNDERUNGEN DER
VERBREITUNGSBEREICHE KÖNNEN ZU PROBLEMEN
IM FISCHEREIMANAGEMENT FÜHREN.

Weitere neue Fangmöglichkeiten für die Fischerei bieten erhöhte Bestände des Europäischen Seehechtes und des Kalmars. Projektionen für die zukünftige Veränderung der Nordseefischgemeinschaft weisen auf eine weitere Verlagerung nach Norden hin. Ein durch den Klimawandel verändertes Auftreten von Plankton kann sich auf das Nahrungsnetz auswirken und so die Jahrgangsstärke der Fischbestände beeinflussen. Dies hat u. a. zur Reduzierung der Nachwuchsproduktion des Kabeljaus, aber auch vieler Plattfische beigetragen.

Klimabedingte Änderungen der Verbreitungsgebiete können zu Problemen im Fischereimanagement führen, wenn sich die Verteilung von Arten über „politische Grenzen“ ändert. So hat die Abwanderung der Makrele aus norwegischen Gewässern in die Nordsee zu Konflikten zwischen norwegischen Fischereischiffen und der britischen Fischereikontrolle geführt. Gleichzeitig haben Island und die Färöer eine Makrelenquote für sich gefordert, da der Bestand in ihre territorialen Gewässer eingewandert ist. Ein ähnliches Problem besteht im Ärmelkanal und in der südlichen Nordsee. Da die Sardellenbestände der französischen und spanischen Fischerei erschöpft sind, besteht Uneinigkeit, inwieweit diese nun Zugang zu den nördlicheren Verbreitungsgebieten der Scholle bekommen sollen. Mit dem Klimawandel werden solche Konflikte möglicherweise vermehrt auftreten.

Eine weitere Folge des Klimawandels ist die **Versauerung** des Meerwassers durch die vermehrte Aufnahme von Kohlendioxid aus der Luft. Dabei sind zuerst Tiere mit Hüllen und Skeletten aus Kalk gefährdet. Effekte sind bereits dokumentiert für Miesmuschel, Auster, Hummer und Kaisergranat.



Im Zusammenhang mit dem Klimawandel ist das mit der Erwärmung vermehrte Auftreten von **Krankheitserregern** ein weiteres bedeutendes Problem für die Nordseefischerei. In Schalentieren kommen insbesondere Vibrionen vor. Dabei handelt es sich um Bakterien, die sehr von den vorherrschenden Salzgehalt- und Temperaturbedingungen abhängig sind. Diese Vibrionen sind gefährlich für die menschliche Gesundheit und vermehren sich insbesondere bei Wassertemperaturen $> 18^{\circ}\text{C}$ und während sommerlicher Hitzewellen. Andere Krankheitserreger wie das Norovirus treten häufig während kalter Winter nach Perioden mit starken Niederschlägen und dem darauffolgenden Abfluss von Wasser aus Kanalisationen auf. Insgesamt kann das Auftreten dieser Krankheitserreger zur zeitlich begrenzten Aussetzung der Fischerei führen.

Köhl, M., Möllmann, C., Fromm, J., Kraus, G., Mues, V. (2018), Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. In: von Storch, H., Meinke, I., Claußen, M. (Eds.), Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55379-4_7

Open-Access-Publikation unter einer CC-BY-NC-4.0-Lizenz, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>, Material wurde modifiziert.

07

Gesundheit

Klimaänderungen können sich vor allem durch Extremereignisse direkt auf die menschliche Gesundheit auswirken. Seit den vermehrt aufgetretenen Hitzewellen der letzten Jahre stehen hier vor allem diese thermischen Extremereignisse im Fokus des öffentlichen Interesses. Dem stehen die indirekten Einflüsse gegenüber. Dazu gehören u. a. die veränderte Verbreitung von Krankheitsüberträgern (z. B. Mücken, Zecken), steigende Hautkrebshäufigkeit und eine Zunahme allergieauslösender Pollen.



Die Hitzebelastung reicht vom einfachen Hitzestress bis hin zu Notfallsituationen wie einem Hitzschlag. Zu den Risikogruppen zählen Menschen, die vermehrt der Hitzebelastung ausgesetzt sind. Hierzu zählen beispielsweise Obdachlose oder Menschen, die in städtischen Wärmeinseln leben oder arbeiten. Außerdem besitzen Menschen mit Herz-Kreislauf-, Atemwegs- oder mentalen Erkrankungen eine verminderte Fähigkeit, sich an Hitze anzupassen. Diese Akklimatisation fällt jüngeren, körperlich gesunden Menschen leichter als älteren Menschen. Je nach individueller Verfassung erfolgt die Akklimatisation an Hitze innerhalb von etwa 14 Tagen. Die Wirkung einer Hitzewelle auf die menschliche Gesundheit ist von ihrer Intensität, Dauer und dem Zeitpunkt des Auftretens im Jahresverlauf abhängig. Je früher diese im Jahr auftritt, desto größer ist ihre Auswirkung auf die Gesundheit, da im Frühjahr oftmals noch keine ausreichende Akklimatisation an hohe Temperaturen stattgefunden hat. Auch sind nicht zwangsläufig die Maximaltemperaturen entscheidend, sondern die Dauer einer erhöhten Temperatur sowie die Abkühlung während der Nacht. Hohe Luftfeuchtigkeit sowie erhöhte Ozonwerte und Feinstaub wirken sich bei Hitze zusätzlich belastend aus.

Die zukünftige Veränderung der **UV-Strahlung** am Erdboden ist mit großen Unsicherheiten behaftet. Insbesondere der UV-B-Anteil ist biologisch besonders wirksam und kann sich

auf die Gesundheit auswirken. Neben Sonnenbränden sind Hautkrebserkrankungen der Hauptrisikofaktor. Im Auge wird die Entstehung des Grauen Stars begünstigt. Unabhängig davon ob sich die UV-Strahlung am Erdboden verändert, ist davon, auszugehen, dass sich das menschliche Verhalten durch klimatische Veränderungen ändert. Der Aufenthalt im Freien steht in deutlichem Zusammenhang mit den vorherrschenden meteorologischen Bedingungen wie Temperatur, Sonnenscheindauer, Niederschlag oder Bedeckungsgrad. Eine Zunahme niederschlagsfreier Tage mit Temperaturen im thermischen Komfortbereich könnte dazu führen, dass sich die Menschen häufiger im Freien aufhalten als bei schlechtem Wetter und sie somit eine höhere UV-Dosis empfangen. Temperaturen oberhalb des thermischen Komfortbereichs hingegen könnten die Menschen veranlassen, die direkte Sonne zu meiden und Schattenbereiche aufzusuchen oder sich innerhalb von Gebäuden aufzuhalten.

Hitzewarnsysteme oder auch Warnungen mittels UV-Index gehören zu den kurzfristigen Anpassungsmaßnahmen. Zur langfristigen Anpassung gehören beispielsweise Strategien und Maßnahmen in der Stadt- und Regionalplanung, der Landschafts- und Freiraumplanung sowie im Städtebau und in der Architektur. Kühlende Wasserflächen wie Seen, Flüsse und Bäche sowie feuchte Grünflächen in der Stadt, welche die Luftfeuchtigkeit erhöhen, tragen durch

Verdunstung zur Kühlung bei. Die Vermeidung weiterer Flächenversiegelung bzw. deren Rücknahme können ebenfalls negativen Stadtklimaeffekten entgegenwirken. Zudem sollten Grünflächen zur Frischluftversorgung und als Kaltluftentstehungsgebiete erhalten bzw. entwickelt werden, um Hitzestress zu reduzieren. Die Berücksichtigung von Frisch- und Kaltluftkorridoren bei der Planung soll die Belüftung innerstädtischer Gebiete ermöglichen. Straßengrün, insbesondere die Bepflanzung mit (Laub-)Bäumen, trägt zur natürlichen Verschattung bei. Bioklimatisch positiv wirken sich auch begrünte Dächer und Fassaden aus, da sie Temperaturextreme reduzieren und Schadstoffe filtern.

Die gesundheitlichen Auswirkungen von **Extremwetterereignissen** wie Überschwemmungen oder Sturmfluten spielen im internationalen Vergleich in Norddeutschland eine eher geringe Rolle. Mögliche direkte gesundheitliche Folgen durch Extremereignisse wie Hochwasser, Überschwemmungen und Stürme, auch in Ländern mit hohem Einkommen, sind neben Ertrinken Verletzungen wie Frakturen, Verstauchungen oder Schnittwunden. Weitere direkte gesundheitsbeeinträchtigende Folgen können Durchfallerkrankungen, chemische Kontaminationen, Haut-/Augenerkrankungen und psychische Störungen wie Depressionen und posttraumatische Belastungsstörungen sein. Eine weitere indirekte Auswirkung des Klimawandels ergibt



sich aus der Zunahme allergieauslösender Pollen. Etwa jeder zweite Erwachsene in Deutschland reagiert sensibel auf diese Allergene. Zu ihnen gehören insbesondere Pollen von Bäumen, wie Haselnuss, Erle, Birke und Eiche, von Süßgräsern und auch von Korbblütlern, z. B. Ambrosia. Klimatische Veränderungen können sich auf die Pollensaison (Beginn, Dauer), die Pollenmenge (erhöhte CO₂-Konzentration), die Pollenallergenität, den Pollentransport sowie die Verbreitung invasiver Arten wie beispielsweise **Ambrosia** auswirken. Das allgemein frühere Einsetzen von Blühphasen ist auch für Haselnuss, Erle und Birke im Frühjahr sowie für Süßgräser im Sommer zu erwarten und teilweise dokumentiert. Für die Produktivität und die Pollenproduktion ist atmosphärisches CO₂ von besonderer



Bedeutung, da das Gas die wichtigste Kohlenstoffquelle für die Photosynthese der Pflanzen und damit für die Primärproduktion ist. So zeigt beispielsweise Ambrosia bei erhöhter Temperatur und auch bei ansteigender CO_2 -Konzentration in Experimenten eine vermehrte Pollenproduktion. Auch die zunehmende Verbreitung von Ambrosia in Europa wird mit der Erwärmung des Klimas in Verbindung gebracht. Allerdings sind gegenwärtig für den norddeutschen Raum wohl

nach wie vor Verunreinigungen von Vogelfutter mit Ambrosiasamen die Hauptursache für die verstärkte Verbreitung dieser Art mit hochallergenen Pollen. Zudem werden weitere Umweltfaktoren, wie eine zunehmende Luftverschmutzung oder auch überhöhte Hygienestandards, als verstärkende Faktoren für eine Zunahme von Allergien diskutiert.

Für die zunehmende Gesundheitsgefährdung durch **Stechmücken** in unseren Breiten werden neben dem Klimawandel der zunehmende globale Personen- und Güterverkehr verantwortlich gemacht. Da Hamburg durch seinen Hafen intensiv in den globalen Warenverkehr eingebunden ist, stellt sich die Frage, ob diese exponierte Lage zusammen mit Klimaveränderungen bereits zu einer Ansiedlung bedrohlicher Populationen von Stechmücken geführt hat. Zwar gilt Deutschland seit Anfang der 1970er-Jahre als malariefrei, doch drohen heute neue Überträger von Krankheitserregern wie die asiatische Tigermücke nach Deutschland einzuwandern. Zudem wurden durch Mücken übertragene Erreger, wie beispielsweise die Usutu-Viren, wiederentdeckt. Das Auftreten ursprünglich mediterraner Stechmücken in Norddeutschland kann als möglicher Indikator für Klimaveränderungen gewertet werden. In Teilen Südeuropas wurden diese Stechmücken als Überträger des West-Nil-Virus identifiziert, das in der Regel harmlose grippeähnliche Erkrankungen verursacht.

Neben Mücken sind **Zecken** die Hauptüberträger von Krankheitserregern. Der Holzbock, die häufigste Zecke in Deutschland, kann verschiedenste Mikroorganismen übertragen. Die bedeutendsten übertragenen Krankheitserreger sind jedoch Bakterien, die beim Menschen die sog. Lyme-Borreliose auslösen können. Durch Zecken übertragene Erkrankungsfälle sind in den letzten Jahren stark angestiegen. Neben der zunehmenden Erholungssuche in der freien Natur oder einer verstärkten Aufmerksamkeit gegenüber von Zecken übertragenen Erkrankungen wird auch der Klimawandel als Ursache diskutiert, da klimatische Parameter die Aktivität und das Überleben der Zecken beeinflussen. So benötigen Zecken eine relative Luftfeuchtigkeit von $> 75\%$, um nicht auszutrocknen. Das Aktivitätsmaximum erreichen Zecken bei $17\text{--}20^\circ\text{C}$, jedoch sind sie bereits ab einer Temperatur von ca. 7°C aktiv. Im Zuge des Klimawandels ist damit zu rechnen, dass diese Mindesttemperatur an mehr (Winter-)Tagen erreicht sein wird, als es bisher der Fall ist. Dies könnte die Zeckenpopulation durch kürzere Generationszeiten und möglicherweise auch die Rate von Infektionen mit pathogenen Mikroorganismen maßgeblich beeinflussen. Ob und inwieweit Krankheitserreger, die von Zecken übertragen werden, im Zuge des Klimawandels in Norddeutschland vermehrt auftreten, ist derzeit Gegenstand der Forschung. Bisher jedoch gibt es noch keinerlei Daten, die darauf hindeuten, dass mit dem Klimawandel auch die Zahl der Zecken in Hamburg und Norddeutschland zunimmt.



Da die **Luftbelastung** einer Region neben den Emissionen auch sehr stark von meteorologischen Bedingungen abhängt, ist ein Einfluss des Klimawandels auf die Luftqualität und damit auf die Gesundheit der Bevölkerung zu erwarten. Die Auswirkungen eines sich verändernden Klimas auf die Luftqualität erfolgen durch Veränderungen der Ventilationsgegebenheiten (durch Wind, Mischungsschichthöhe, Konvektion und Frontpassagen), der Auswaschung durch Niederschläge, der chemischen Umwandlungsraten und der natürlichen Emissionen. Luftschadstoffe wirken sich auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Asthma und andere Atemwegserkrankungen aus. Ältere Menschen, Kleinkinder und chronisch kranke Personen sind hier am häufigsten betroffen. Die Luftqualität im norddeutschen Raum wird von Verkehrsemissionen, insbesondere durch Kraftfahrzeuge und die Schifffahrt, durch industrielle Quellen und Kraftwerke, aber auch in erheblichem Maß durch die Landwirtschaft bestimmt. Die zukünftige Luftqualität und damit einhergehend die Gesundheit der Bevölkerung im Nordwesten Europas wird sowohl von veränderten Emissionen von Schadstoffen, insbesondere auch denen aus dem Transportsektor, wie auch von Veränderungen meteorologischer Bedingungen durch den Klimawandel abhängen. Dabei ist die Bedeutung von Emissionsveränderungen und deren Auswirkung auf Schadstoffkonzentrationen gegenüber den möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Luftbelastung deutlich höher.

DIE LUFTQUALITÄT WIRD VOR
ALLEM VON EMISSIONEN DURCH
VERKEHR, INDUSTRIE UND
LANDWIRTSCHAFT BEEINFLUSST.



Augustin, J., et al. (2018), Gesundheit. In: von Storch, H., Meinke, I., Claußen, M. (Eds.), Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55379-4_8

Open-Access-Publikation unter einer CC-BY-NC-4.0-Lizenz, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>, Material wurde modifiziert.

08

Energie- und Wasserversorgung

Energie- und Wasserversorgung zählen zu den wichtigsten Infrastrukturen. Ihre Beeinträchtigung oder Unterbrechung kann zu erheblichen Störungen und nachhaltigen Versorgungsengpässen führen, die Lebensqualität herabsetzen und die Gesundheit gefährden. Am deutlichsten werden die Folgen jedoch durch die ökonomischen Schäden und deren monetäre Abschätzung. Eine deutschlandweite ganztägige Unterbrechung der Energieversorgung würde zu volkswirtschaftlichen Kosten von bis zu 30 Mrd. Euro führen.



Der **Energiesektor** kann infolge des Klimawandels vor allem durch Extremereignisse, steigende Temperaturen und Änderungen in der Wasserverfügbarkeit beeinflusst werden. Extremereignisse und die Wasserverfügbarkeit können das für Biogasanlagen notwendige Angebot an Biomasse reduzieren. Der Betrieb von Wasserkraftanlagen ist abhängig vom Pegelstand des jeweiligen Flusses. Bei zu wenig oder zu viel verfügbarem Wasser muss die Auslastung reduziert bzw. die Wasserkraftanlage ganz abgeschaltet werden. Auch thermische Kraftwerke (Kohle, Gas, Öl, Kernkraft) stehen oft an Flüssen und beziehen ihr Kühlwasser aus ihnen. In niederschlagsarmen Zeiten kann bei sinkenden Flusspegeln die Wasserentnahme eingeschränkt werden. Zudem darf das wieder eingeleitete Wasser aus wasserrechtlichen Gründen eine bestimmte Temperatur nicht überschreiten. Im Sommer kann dieser Schwellenwert bei ohnehin erhöhten Wassertemperaturen durch häufigere bzw. länger andauernde Hitzeperioden öfter und über längere Zeiträume überschritten werden. Die Energieerzeugung durch thermische Kraftwerke kann somit vor allem durch hydrologische Standortfaktoren beeinflusst werden, also durch den Abfluss und die Wassertemperatur.

Eine mögliche Zunahme von Starkwinden würde höhere Anforderungen an die Standfestigkeit von Windkraftanlagen und an die mechanische Belastung von Bauteilen bewirken. Bei



Offshore-Windkraftanlagen könnten sich diese Anforderungen zusätzlich durch veränderten Seegang erhöhen. Das Potenzial der Windkraftnutzung wird sich bis Mitte des Jahrhunderts voraussichtlich nicht wesentlich verändern.

Auch für Photovoltaikanlagen und Geothermie sind keine wesentlichen Auswirkungen durch den Klimawandel zu erwarten.

Die Netzinfrastruktur ist für Störungen am anfälligsten. Vor allem der oberirdische Teil der Netze kann durch Wetterextreme wie Blitz, Eis- und Schneelasten beeinflusst werden.

Zudem können Mastfundamente und unterirdische Kabeltrassen bei Hochwasser unter- bzw. freigespült werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiesektor jahreszeitlich zu differenzieren sind. Extremwetterbedingte Schäden an Kraftwerken und Leitungsnetzen sind vorrangig in den Wintermonaten zu erwarten, während im Sommer Versorgungsengpässe infolge einer Zunahme des Kühlenergiebedarfs bei gleichzeitiger Beeinträchtigung der Stromproduktion von Wasser- und thermischen Kraftwerken auftreten können. Insgesamt gelten die Folgen des Klimawandels auf den Energiesektor aber als handhabbar, wobei mittelfristig mit einem Anstieg des Sanierungsbedarfs des Stromnetzes gerechnet wird.

Der **Wassersektor** ist stark durch die vorherrschenden Niederschlagsverhältnisse geprägt. So führen lange Dürreperioden auch zu einem Absinken des Grundwasserspiegels. Dies kann zu Problemen bei der Trinkwassergewinnung führen, die in vielen Regionen Deutschlands aus dem Grundwasserspeicher erfolgt. Durch die starke Versiegelung in den Städten wurde der natürliche Kreislauf, bei dem ein Teil des Regenwassers versickert und Grundwasser bildet, bereits gestört, so dass der Niederschlag derzeit vermehrt über Oberflächengewässer abfließt. Versiegelung und andere Faktoren, wie Eindeichung



SIELKAPAZITÄTEN SOLLTEN AN
HÄUFIGERE STARKNIEDERSCHLÄGE
ANGEPASST WERDEN.

von Flüssen oder die Trockenlegung von Mooren, haben bereits heute vielerorts den Grundwasserspiegel sinken lassen. Trotz dieser Entwicklungen und des erwarteten Klimawandels sind für die Region Hamburg nach derzeitigem Kenntnisstand zukünftig keine Engpässe bei der öffentlichen Wasserversorgung zu befürchten. Betroffen wären von einer solchen Verknappung vor allem die Haushalte, die rund 70 % des Trinkwassers abnehmen.

Auch Starkniederschläge, die zu Hochwasserereignissen führen, wirken sich auf den Wassersektor aus. Beeinträchtigungen der Wasserversorgung erfolgen dabei durch

Schäden an Anlagen der Energie-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik, an Brunnen- und Fassungsanlagen, an Wasseraufbereitungsanlagen sowie am Rohrnetz. Zunehmende Starkniederschläge können zu einer Verschärfung der bestehenden Abwasserprobleme führen. Dazu gehört vor allem das Überlaufen der Mischwasserkanäle bei Starkregen, was bereits heute mehrmals im Jahr vorkommt und zu Verunreinigungen im Hafenwasser und in Badegewässern führt. In diesem Zusammenhang sind die Sielkapazitäten für die Ableitung des Regenwassers neu zu bewerten und gegebenenfalls anzupassen.

Neben vielen anderen Faktoren hängt die Wassernachfrage auch von der Temperatur ab. Mit der Erwärmung ist mit einem leicht erhöhten Pro-Kopf-Wasserverbrauch zu rechnen. So müssen die Versorgungsbetriebe die Kapazitäten für den Spitzenbedarf bei langen Hitze- und Trockenperioden sicherstellen. Hierzu zählt auch das Vorhalten von Löschwasser. Diverse industrielle Sektoren wie die Nahrungsmittel- und Getränkeproduktion verzeichnen in den Sommermonaten eine erhöhte Nachfrage. So lag der Wasserverbrauch im August des Hitzesommers 2003 um 15 % über dem langjährigen Mittelwert, wie Untersuchungen in den Niederlanden gezeigt haben. Die Folge solcher Schwankungen können Unterauslastungen von Anlagen in Perioden mit relativ geringem Wasserbedarf sein, die zu Ineffizienzen des Betriebs von Einrichtungen führen.



Der Klimawandel führt allerdings möglicherweise dazu, dass bestehende Kapazitäten trotz vorübergehend verringerten Wasserbedarfs nicht reduziert werden können, weil klimawandelbedingt erwartete Extremereignisse dieses erforderlich machen.

Groth, M., Rose, J. (2018), Infrastrukturen (Energie- und Wasserversorgung). In: von Storch, H., Meinke, I., Claußen, M. (Eds.), Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55379-4_9

Open-Access-Publikation unter einer CC-BY-NC-4.0-Lizenz, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>, Material wurde modifiziert.

09 Migration

Der Status „Klimaflüchtling“ ist immer wieder Gegenstand der öffentlichen Diskussion. Migration hat jedoch meistens viele verschiedene Ursachen, die gemeinsam auftreten. Somit kann die Fluchtursache „Klimawandel“ oft nicht isoliert identifiziert werden. Insgesamt wird jedoch davon ausgegangen, dass umweltbedingte Migration im 21. Jahrhundert zunehmen wird.



Migration hat oft viele Ursachen, so dass soziale, politische, ökologische und ökonomische Fluchtursachen nicht eindeutig voneinander getrennt werden können. So war beispielsweise für in Hamburg interviewte Flüchtlinge aus Syrien die Gewalt eindeutig der wichtigste Fluchtgrund. Nur einer unter den Befragten sah in der Dürre einen Faktor, der zu der brisanten politischen Situation vor dem Bürgerkrieg beigetragen hat. Zudem wirkt sich der Klimawandel auch auf Anreize, Möglichkeiten, Hindernisse und die Attraktivität der Migration aus. Insbesondere der Meeresspiegelanstieg, aber auch Wüstenbildung kann dazu führen, dass notwendige Ressourcen permanent nicht mehr zur Verfügung stehen. Da es keine Rückkehrmöglichkeit gibt, sind Umsiedlungen notwendig.

Kurzfristig eintretende Extremwetterereignisse wie Stürme und Überflutungen sind häufig mit großen Bevölkerungsbewegungen verbunden. Diese bleiben aber überwiegend kleinräumig. Hauptgrund sind häufig geringe Möglichkeiten der Betroffenen für weiträumigere Migration sowie vorhandene Rückkehrmöglichkeiten. Internationale humanitäre Hilfe ermöglicht den Menschen ein Überleben in der Nähe ihrer Heimatorte und macht weiträumige und permanente Umsiedlung weniger wahrscheinlich. Umweltinduzierte Migration in vom Klimawandel besonders betroffenen Regionen kann auch Folgeeffekte erzeugen, wenn andere wegen zunehmender Konkurrenz durch Migranten

ihrerseits die Entscheidung treffen, die lange und teure Reise nach Europa anzutreten. Der Zustrom unterschiedlicher Migrantengruppen ist eine wichtige Ressource für die wirtschaftliche und kulturelle Weiterentwicklung von Großstädten. Er stellt aber auch Herausforderungen für Bereiche der Stadtentwicklung dar, wie die Wohnungsversorgung besonders in preisgünstigen Segmenten, die soziale Infrastruktur wie Kindergärten, Schulen und die Unterstützung der Älteren sowie den Arbeitsmarkt. Die Integrationsaufgabe muss zudem durch spezielle Angebote wie Sprachkurse oder Begegnungsorte befördert werden. Die erfolgreiche Umsetzung ist aber auch vom Alltagshandeln und von der sog. Willkommenskultur aller Stadtbewohner abhängig. Die Gestaltung des Zusammenspiels von Zuwanderung und Stadtentwicklung ist politisch zumeist kontrovers begleitet worden.

Es gilt als unzweifelhaft, dass umweltbedingte Migration im 21. Jahrhundert zunehmen wird und damit auch die Stadtregion Hamburg als Wanderungsziel bedeutungsvoll bleibt. Darauf haben sich Stadtpolitik und Stadtplanung einzustellen.

Brzoska, M., Oßenbrügge, J., Fröhlich, C., Scheffran, J. (2018), Migration. In: von Storch, H., Meinke, I., Claußen, M. (Eds.), *Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55379-4_10

Open-Access-Publikation unter einer CC-BY-NC-4.0-Lizenz, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>, Material wurde modifiziert.

10

Schifffahrt

Die Schifffahrt trägt durch Treibhausgasemissionen zum Klimawandel bei. Etwa 80 % des globalen Gütertransports erfolgen durch die Seeschifffahrt. Von den Treibhausgasemissionen, die vom Transportsektor erzeugt werden, fallen etwa 37 % auf die Seeschifffahrt. Bis Mitte des 21. Jahrhunderts kann das Transportvolumen um das 4-Fache steigen. Durch die Klimafolgen ergeben sich sowohl Risiken als auch Chancen.



Neben den Treibhausgasemissionen stellt insbesondere die Emissionsbelastung in den Seehäfen infolge der Nutzung preiswerter und minderwertiger Schweröle ein besonderes Problem dar. Weitere Problemfelder sind die Verklappung von Öl und anderen Schadstoffen, die Verschmutzung durch Bilgewasser, die Einschleppung fremder Arten in die heimischen Ökosysteme und die Emission von Luftschadstoffen und Lärm. Zudem sind Infrastrukturmaßnahmen, wie z. B. Fahr-rinnerweiterungen und die Ausweitung von Hafenanlagen, Straßen und Schienensystemen, vor dem Hintergrund des Klimawandels ggf. neu zu bewerten, da beispielsweise morphologische Änderungen an Flüssen und Küsten im Zusammenspiel mit dem Meeresspiegelanstieg zu erhöhten Sturmflutwasserständen führen können.

Insgesamt ist davon auszugehen, dass der Meeresspiegelanstieg, möglicherweise einhergehend mit höheren Wellen und stärkeren Stürmen, zu vermehrten, stärkeren und länger andauernden Überflutungen der Hafenanlagen führt. Dies hätte entsprechende betriebliche Ausfallzeiten zur Folge. Die Ankunftsgenauigkeit der Schiffe wäre beeinträchtigt und ihre Be- und Entladung erschwert, da bei Überflutung die Zu- und Abfahrtswege möglicherweise nicht mehr passierbar sind. Zudem wären von den Überflutungen neben den Liegeplätzen auch die Stromversorgung sowie die Lagerflächen

betroffen, so dass die Transportgüter beschädigt werden könnten.

Aufgrund des zunehmenden Risikos der Überschwemmung von Hafenanlagen werden technische Maßnahmen wie Anpassungen von Eindeichungen, Sperrwerken und Überlaufpoldern hinter den Deichen diskutiert. Aber auch die Wiederherstellung natürlicher Funktionen von Überflutungsflächen wird als Option für künftige Anpassungsmaßnahmen in Betracht gezogen.

Durch den Meeresspiegelanstieg kann die Befahrbarkeit der Wasserstraßen für Schiffe beeinträchtigt werden, wenn der Wasserpegel so erhöht ist, dass die erforderliche Durchfahrts-höhe unter Brücken nicht mehr gewährleistet wäre. Geringere Niederschlagsmengen, wie Klimaszenarien für Sommermonate plausibel erscheinen lassen, und eine mögliche Verstärkung des stromaufwärts gerichteten Sedimenttransports und eine damit einhergehende steigende Ablagerung, könnten dagegen regional zu geringerer Wassertiefe führen und damit die Schifffbarkeit der Wasserstraßen, z. B. der Elbe, für Schiffe mit großem Tiefgang erschweren. Im Bereich der Elbe sind solche Niedrigwassersituationen aufgrund ihrer relativ langen Andauer für den Binnenschifftransport relevanter als Hochwasserereignisse.

Die Transportleistung in der Schifffahrt und damit der Umschlag des Hafenbetriebes wären dadurch empfindlich beeinträchtigt.

Infolge des erhöhten Sedimenttransports sind Kapazitäten für vermehrte Maßnahmen zur Erhaltung der Fahrrinne bereitzustellen, um die Schiffbarkeit des Hamburger Hafens zu gewährleisten. Problematisch ist jedoch weiterhin die Schadstoffbelastung des Sediments, die ihren Ursprung im gesamten Einzugsgebiet der Elbe bis hin zur Tschechischen Republik hat. Die ausgehobenen Sedimente werden derzeit an Land behandelt und abgelagert. Maßnahmen zur Verringerung der Schadstoffbelastung des vermehrt zu lagernden Sediments sind daher auch in Zukunft unabdingbar.

Als Chance für die Schifffahrt wird der mit der Erderwärmung einhergehende Rückgang des Polareises gesehen. Dieser eröffnet potenziell neue Schifffahrtswege. Die damit verbundene Verkürzung der Transportzeiten kann erheblich sein. So beträgt das Einsparpotenzial hinsichtlich der Transportzeiten auf der Nordostpassage entlang der russischen Küste nach Asien 40 % gegenüber der Route durch den Sueskanal. Dies wird insbesondere für den Hamburger Hafen positiv bewertet, da sein Containerumschlag zur Hälfte durch den Seeverkehr von und nach Asien erfolgt.

DER KLIMAWANDEL ERÖFFNET NEUE
SCHIFFFAHRTSWEGE MIT KÜRZEREN
TRANSPORTZEITEN.





Der Kostenersparnis durch Nutzung der Nordostpassage stehen Gebühren gegenüber, die an den Anrainerstaat Russland zu entrichten sind, sowie Entgelte für die Begleitung mit Eisbrechern. Seeschifffahrt in den Polargebieten ist zudem nur mit Schiffen der entsprechenden Eisklasse möglich. Dies bedeutet, dass die Schiffe verstärkte Rümpfe und kräftigere Antriebssysteme haben müssen. Dies erhöht ihr Gewicht, reduziert ihre Ladekapazität und führt zu höheren Konstruktions- und Betriebskosten.

Bei künftig möglicherweise größeren Wellenhöhen, beispielsweise um 1 m auf See, müsste die Materialstärke der Tanker um 5–8 % angehoben werden. Auch im Hinblick auf die Verhinderung der Einschleppung fremder Arten werden Veränderungen an den Schiffsrümpfen, z. B. durch bestimmte Anstriche oder Oberflächenbehandlungen, diskutiert.

Weiher, B. (2018), Hafen Hamburg, Schifffahrt und Verkehr. In: von Storch, H., Meinke, I., Claußen, M. (Eds.), Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55379-4_11

Open-Access-Publikation unter einer CC-BY-NC-4.0-Lizenz, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>, Material wurde modifiziert.



Regionaler Klimawandel und Gesellschaft



11

Klimawandel in den Medien

Seit etwa drei Jahrzehnten ist das Thema Klimawandel in den Medien deutlich sichtbar. Grundsätzlich stimmt die Berichterstattung mit dem wissenschaftlichen Befund überein, dass es eine außergewöhnliche globale Erwärmung gibt, die durch menschliche Treibhausgasemissionen verursacht wird. Dennoch finden sich noch immer klimaskeptische Stimmen in der Medienberichterstattung wieder. Dabei spielen journalistische Routinen eine Rolle, die eine „ausgewogene“ Berichterstattung nahelegen und das Ziel verfolgen, in Konflikten beide Seiten einander neutral gegenüberzustellen. Bezüglich des Klimawandels führt dies jedoch zu einer falschen Ausgewogenheit.



Häufig wird der Beginn der verstärkten Berichterstattung auf das Jahr 1988 datiert, in dem der Weltklimarat (IPCC) gegründet wurde und Margaret Thatcher eine vielzitierte Rede vor der Royal Society hielt, in der sie vor einem „Experiment mit unserem Planeten“ warnte. Etwa zeitgleich wies der Klimawissenschaftler James Hansen vor dem US-Kongress ebenfalls auf ernste Folgen des „Treibhauseffekts“ hin. In Deutschland kam es ab 1986 zu einer intensivierten Debatte, als eine Presseerklärung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft den Begriff „Klimakatastrophe“ prägte, den der Spiegel auf seiner Titelseite mit dem im Meer versinkenden Kölner Dom illustrierte.

Insgesamt orientiert sich die mediale Berichterstattung grob an den Erkenntnissen der Klimawissenschaft. In einigen Ländern weicht das Berichtermuster der Medien jedoch deutlich von der wissenschaftlichen Diskussion ab und stellt die Existenz des anthropogenen Klimawandels als Gegenstand einer offenen Debatte zwischen sog. Skeptikern und Warnern dar. Angesichts des sehr breiten Konsenses der Wissenschaft über die Grundannahmen des Klimawandels erwecken diese Medien somit den falschen Eindruck einer offenen Debatte und einer großen Unsicherheit über die grundlegenden Annahmen der Klimawissenschaft. Großen Einfluss hat, zumeist in angelsächsischen Ländern, zudem die sog. „denial machine“: Dabei handelt es sich um PR-Strategien

einer von der Ölindustrie und privaten Großinvestoren finanzierten Kampagne in Form von Thinktanks, NGOs und mit ihnen vernetzten privaten Blogs, die gegen eine wirksame Klimapolitik mobilisieren und zumindest in den USA einen Teil der Führung der Republikanischen Partei hinter sich haben.

Es zeichnet sich jedoch auch eine gegensätzliche Tendenz in der Berichterstattung ab, die durch die andauernden journalistischen Schwierigkeiten im Umgang mit den Unsicherheiten der Klimaforschung gekennzeichnet ist: Während Wissenschaftler dazu neigen, auf Unsicherheiten bei der Interpretation ihrer Ergebnisse hinzuweisen, sind Journalisten und politische Akteure eher an klaren und eindeutigen Aussagen interessiert. So werden Szenarien zu Vorhersagen und Wahrscheinlichkeiten zu Gewissheiten.

Die Berichterstattung schwankt im zeitlichen Verlauf und ist eng an bestimmte (Medien-)Ereignisse, vor allem auf dem politischen Feld wie den UN-Klimakonferenzen, gebunden, aber auch an neu veröffentlichte Berichte des Weltklimarates und an extreme Wetterereignisse. Im Fallbeispiel Hamburg wird Klimawandel zu einem Themenfeld, bei dem aktuelles Geschehen (Sturmfluten heute, Stadtentwicklung in der HafenCity, regionale Landwirtschaft) und vergangenes Geschehen (Sturmflutkatastrophe von 1962) enge Verflechtungen

eingehen. Das Thema Klimawandel hat weit über das wissenschaftliche Ursprungsfeld hinaus an gesellschaftlicher Bedeutung gewonnen. Es ist mit Betrachtungen der eigenen Lebenswelt und des eigenen Lebensstils, politischen Entscheidungen, Erinnerungen und Zukunftsängsten verknüpft.

Die Berichterstattung über klimabezogene Themen in den Medien führt allenfalls langfristig zu einem Wissenszuwachs. In geringerem Maße fördert sie eine Einstellung, die als „Klimabewusstsein“ wirksam wird. Am wenigsten jedoch zeigt die Nutzung klassischer Medien eine Wirkung auf klimabezogene Handlungsintentionen. Dies deutet darauf hin, dass neben klimabezogenem Wissen und klima- bzw. umweltbezogenen Einstellungen andere Faktoren wie etwa das allgemeine Konsumverhalten oder auch individuelle sowie organisatorische und volkswirtschaftliche Rahmenbedingungen unsere Handlungen und Entscheidungen beeinflussen.

Brüggemann, M., Neverla, I., Hoppe, I., Walter, S. (2018), Klimawandel in den Medien. In: von Storch, H., Meinke, I., Claußen, M. (Eds.), Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55379-4_12

Open-Access-Publikation unter einer CC-BY-NC-4.0-Lizenz <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>, Material wurde modifiziert.

12 Wahrnehmung des Klimawandels in Norddeutschland

Klima ist eine Wetterstatistik über einen meist dreißig-jährigen Zeitraum. Die Änderung dieser Statistik lässt sich vom Einzelnen nicht fühlen. Klimawandel ist also nicht „erlebbar“. Wahrgenommen werden allenfalls die Auswirkungen, die man für Folgen des Klimawandels hält oder als solche erklärt bekommt.



Was Klimawandel für den Einzelnen bedeutet, hängt von den vorhandenen Informationen, der mentalen Informationsverarbeitung und den eigenen Erfahrungen ab. Darüber hinaus wirken sich der regionale, naturräumliche und soziale Kontext der Befragten aus. Auch das Ausmaß und die Art und Weise, in der Bewohner und Stakeholder Naturrisiken ausgesetzt sind, haben Einfluss auf die Wahrnehmung des Klimawandels. Dabei spielen Schlüsselereignisse und ihre mediale Aufbereitung eine zentrale Rolle. Da sich diese lokal sehr unterschiedlich ausprägen können, ist auch die Klimawandelwahrnehmung ortsgebunden und in den gesellschaftlichen Zusammenhang eingebettet. Diese regionalen und lokalen Wahrnehmungsmuster sind für die Diskussion und Planung regionalspezifischer Anpassungsstrategien von großer Bedeutung.

Innerhalb Norddeutschlands kann sich die Wahrnehmung der Klimarisiken lokal deutlich unterscheiden. Nationale und internationale Berichterstattungen über mögliche Bedrohungen durch den Klimawandel werden zwar wahrgenommen, die Art und Weise der Wahrnehmung unterscheidet sich jedoch, je nachdem in welche lokalen Wissensbezüge sie eingeordnet werden. Vor allem die Wahrnehmung von Sturmflutgefahren wird hauptsächlich durch das lokal- bzw. regionalpolitisch-administrative Verständnis geprägt. So zeigt die Bevölkerung in den Regionen Bremen, Wilhelmshaven und Wangerland hohes

Vertrauen in die Küstenschutzmaßnahmen und fühlt sich vor diesem Hintergrund auch vom Klimawandel wenig bedroht.

Auch Untersuchungen auf Sylt zeigen, dass der Klimawandel für die Befragten nur eine untergeordnete Rolle spielt. Als mögliche Auswirkungen des Klimawandels wurden hauptsächlich Wetteränderungen, der Anstieg des Meeresspiegels und Überschwemmungen/Landverlust angegeben. Sturmfluten folgten als ebenfalls relativ häufig genannte Auswirkung des Klimawandels.

Umfragen in Hamburg zeigen jedoch, dass der Klimawandel für die Befragten ein „ernsthaftes Problem“ darstellt. Allerdings lässt sich einschränkend feststellen, dass Klimawandel nicht das wichtigste Problem für die befragten Bürger ist. Die Klimawandelwahrnehmung unter Hamburger Bürgern unterliegt zeitlichen Schwankungen und steht u. a. im Zusammenhang mit der Intensität der medialen Berichterstattung. Lässt diese nach, rücken andere Probleme in der Wahrnehmung der Bevölkerung wieder in den Vordergrund.

Sturmfluten werden von der deutlichen Mehrheit der befragten Hamburger als Naturkatastrophe mit den potenziell schwersten Folgen für Hamburg wahrgenommen. Hier ist die Sturmflut vom Februar 1962 bis heute prägend.

Auch die Wahrnehmung von Stürmen und Starkregen als Ereignisse mit schweren Folgen für Hamburg stieg in den letzten Jahren kontinuierlich an. Insgesamt fühlen sich die Einwohner Hamburgs jedoch sicher – auch vor den Auswirkungen des Klimawandels. Somit wird keine große Notwendigkeit gesehen, das eigene Verhalten zu ändern.

Das Bewusstsein für die möglichen Risiken durch den Klimawandel wachzuhalten und sich auf dessen Folgen einzustellen, sich also anzupassen, wird eine öffentliche und private Aufgabe sein. Auch das Zusammenspiel des staatlichen und des persönlichen Risikomanagements kann nur dann wirksam funktionieren, wenn das Risiko auch auf der persönlichen Ebene richtig eingeschätzt wird. Wenn es in den Köpfen der Menschen keinen Platz für persönliches präventives Handeln und aktiven Schutz im Katastrophenfall gibt, wird es auch schwer werden, wirksame Maßnahmen zu etablieren.

Ratter, B. M. W. (2018), Wahrnehmung des Klimawandels in der Metropolregion Hamburg. In: von Storch, H., Meinke, I., Claußen, M. (Eds.), Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55379-4_13

Open-Access-Publikation unter einer CC-BY-NC-4.0-Lizenz, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>, Material wurde modifiziert.



UMFRAGEN IN HAMBURG ZEIGEN, DASS
DER KLIMAWANDEL FÜR DIE BEFRAGTEN
EIN „ERNSTHAFTES PROBLEM“ DARSTELLT.

13

Klimaschutzpolitik in Städten und Gemeinden

Internationale Klimaschutzvereinbarungen werden zu einem großen Teil in Städten und Gemeinden umgesetzt. Jedoch stehen selbst weitreichenden Klimaschutzmaßnahmen keine kurzfristig sichtbaren Erfolge gegenüber. Somit gerät Klimaschutz auf der politischen Agenda in Konkurrenz zu sichtbarer Erfolgspolitik.



Zwar sind die primär verantwortlichen Vertragspartner der Klimaschutzabkommen der Vereinten Nationen die Nationalstaaten, dennoch geraten zunehmend auch die lokale Ebene und damit Städte und Gemeinden als eigenständige Akteure des Klimaschutzes in den Blick. Selbst anspruchsvolle nationale Rahmensetzungen sind keine Garantie dafür, dass sich Städte mit der Thematik auseinandersetzen und eigene Ansätze entwickeln. Andererseits gibt es Städte mit hohen Zielsetzungen im Klimaschutz in Bundesländern, die keine ehrgeizigen Klimastrategien erfolgen.

Insgesamt treten eher wohlhabende Städte als Vorreiter beim Klimaschutz in Erscheinung, die eine liberale Bevölkerung mit hohem Bildungsniveau haben. Einkommen und Bildung korrelieren mit ökologischen Präferenzen. In der Bevölkerung wird die lokale Lebensqualität oft mit Aspekten einer nachhaltigen Entwicklung in Verbindung gebracht. Der Klimaschutz kann hier zum identitätsstiftenden Motor von Stadt- und Regionalentwicklung werden.

Allerdings ist auch bei sehr weitgehenden Klimaschutzmaßnahmen eine tatsächliche Wirkung auf das globale Klima erst mit einer deutlichen Verzögerung spürbar, wenn es beispielsweise gelingt, die globale Erwärmung im Laufe dieses Jahrhunderts zu verlangsamen bzw. zu begrenzen. Welche

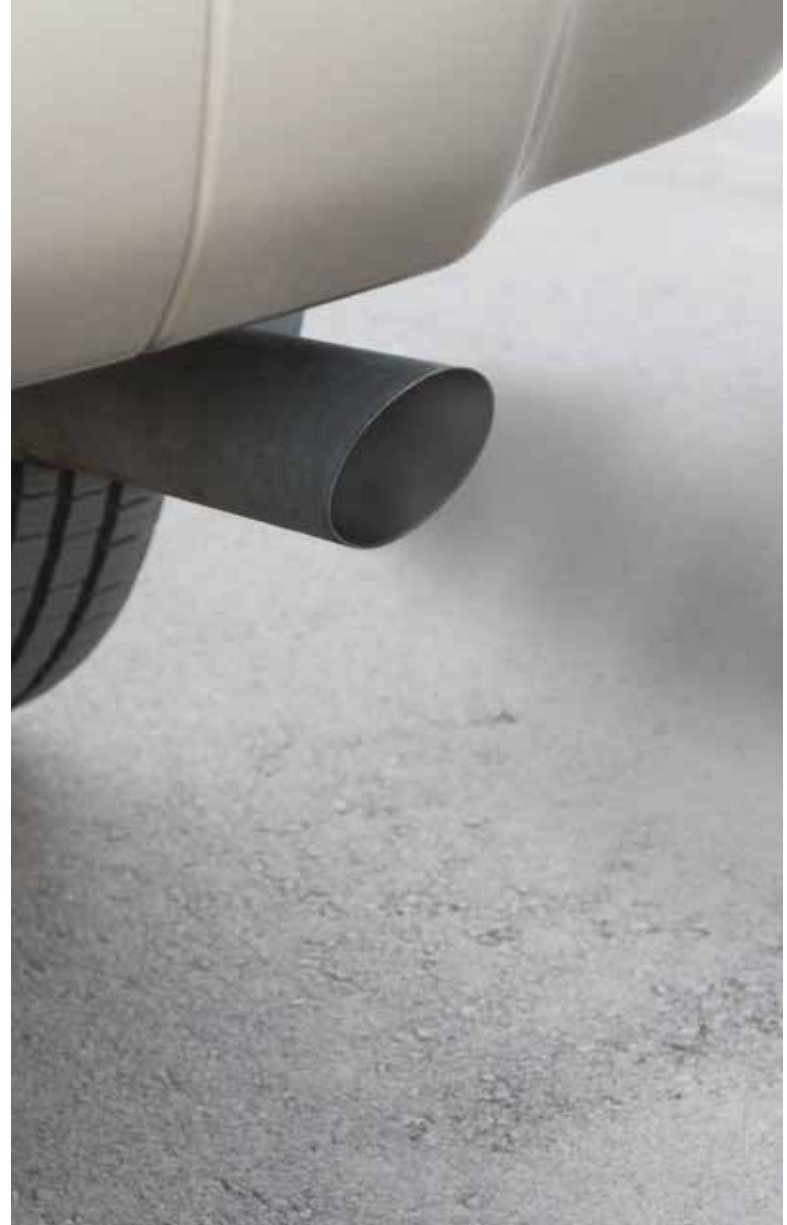
Maßnahme welchen Anteil daran hätte, wäre im Nachhinein jedoch nicht rekonstruier- oder messbar. Im Hinblick auf kurzfristige politische Erfolgskriterien haben somit oft andere Interessen Priorität. Obwohl der Klimaschutz einer sektorübergreifenden Koordination bedarf, wird er in der Praxis oft als Randthema behandelt. Damit geht oft eine Beschränkung auf die Umweltbehörde oder auf einzelne Abteilungen einher. Handlungspotenziale bestehen aber auch in zentralen Sektoren wie Bildung, Gesundheit, Abfallwirtschaft und Landnutzungsplanung sowie im Transportbereich. Oft wird versucht, mit den Maßnahmen zusätzliche Vorteile in anderen Bereichen zu erzeugen und erstrebenswerte Entwicklungen auf lokaler Ebene zu initiieren. Dazu zählen finanzielle Einsparungen durch Energieeffizienz, Anreizsetzungen für den Arbeitsmarkt durch die Generierung zusätzlicher Arbeitsplätze oder auch die Verringerung der lokalen Luftverschmutzung.

Für den Klimaschutz auf städtischer und regionaler Ebene wurden in den vergangenen Jahren vielfach Klimaschutz- und Energiekonzepte erarbeitet. Kerninhalte dieser Konzepte sind Bestands- und Potenzialanalysen für die Region, Leitlinien und politische Ziele zur energiepolitischen Entwicklung sowie eine abgestimmte Umsetzungsstrategie. Diese Konzepte unterscheiden sich jedoch in Alter, Ziel- und Schwerpunktsetzung, beteiligten Akteuren, Umfang und Grad der Umsetzung.

Immer wichtiger in der lokalen Klimaschutzpolitik wird das Monitoring bzw. die Emissionserfassung. Die Entwicklung wirkungskräftiger Klimaschutzpläne erfordert, dass lokale Regierungen einen fundierten Überblick über den Emissionsausstoß und das damit einhergehende Reduktionspotenzial haben. Durch die Messbarmachung von erreichten Reduzierungen und deren Zurechnung zu lokalen Strategien werden eine bessere Beurteilung und Vergleichbarkeit hergestellt.

Engels, A., Wickel, M., Knieling, J., Kretschmann, N., Walz, K. (2018), Lokale Klima-Governance im Mehrebenensystem: formale und informelle Regelungsformen. In: von Storch, H., Meinke, I., Claußen, M. (Eds.), Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55379-4_14

Open-Access-Publikation unter einer CC-BY-NC-4.0-Lizenz, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>, Material wurde modifiziert.



14

Technischer Klimaschutz am Beispiel Hamburgs

Die beste Option zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen sind der Ausbau und die Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Am effizientesten ist dabei die Energieversorgung direkt benachbarter Regionen. Bei vorübergehend geringem Angebot an erneuerbaren Energien sollte das Energiedefizit nicht durch emissionsintensive Kraftwerke gedeckt werden.



In der **Energieversorgung** ist es für Hamburg als Stadtstaat schwer, sich im Ausbau regenerativer Energieerzeugung mit Flächenstaaten gleichzustellen. Aufgrund der Flächenknappheit wird Hamburg immer vom Stromimport und vom Ausbau der regenerativen Erzeugungskapazitäten in den benachbarten Bundesländern abhängig sein. Obwohl Hamburg als bedeutender Standort der Windindustrie gilt, ist hier die installierte Leistung der solaren Strahlungsenergie höher. Die erneuerbaren Energieträger Wind, Solar und Biomasse sind in den letzten Jahren weiter ausgebaut worden und es sind jeweils Ausbaupotenziale vorhanden. Jedoch kann selbst bei kompletter Ausschöpfung dieser Potenziale der Energiebedarf Hamburgs nicht gedeckt werden.

Durch den im Jahr 2005 eingeführten CO₂-Zertifikatehandel sind auch Kraftwerksplaner gezwungen, vermehrt auf den Wirkungsgrad zu achten, da ein hoher Anstieg der Zertifikatspreise erwartet wird. Der CO₂-Ausstoß variiert je nach Brennstoff und Art des Kraftwerks deutlich (z. B. 1142 g/kWh_{el} bei Braunkohlekraftwerken und 5 g/kWh_{el} bei Erdgas-Blockheizkraftwerken). Um diesen zu reduzieren, wird die Abspaltung in Verbindung mit der Speicherung von CO₂, die sogenannte CO₂-Sequestrierung oder **CCS** („carbon capture and storage“), diskutiert. Zwar wird eine Abscheidungsrate von bis zu 90% erreicht, sie ist jedoch sehr energieintensiv und führt somit zu

Wirkungsgradeinbußen von 5–12%. Zudem steigen die Investitionskosten der Anlagen mit CCS-Technologie etwa um das Doppelte. Die Speicherung des abgespalteten CO₂ in den tiefen Sedimentschichten konkurriert mit anderen Nutzungsformen wie Erdwärme oder Fracking und gilt wegen der möglichen bodennahen Ablagerung von entweichendem Gas als nicht risikoarm.



Auch **Fracking** wurde im Hamburger Raum untersucht und diskutiert. So erhielt eine Tochterfirma von ExxonMobil die Erlaubnis, in Teilen von Bergedorf, Allermöhe, Wilhelmsburg und Harburg nach potenziellen Förderstellen zu suchen, auch wenn die Möglichkeit einer tatsächlichen Förderung vonseiten der Politik stets verneint wurde.

Potenziale zur Emissionsreduzierung bestehen in der Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades der Energieträger. Somit kann mit weniger Brennstoff eine höhere Menge Energie gewonnen werden. Zudem hat Hamburg in der Wärmeversorgung mit einem sehr gut ausgebauten Fernwärmenetz noch großes Potenzial, den regenerativen Anteil zu erhöhen. Die Erforschung und Entwicklung neuer Technologien zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen ist ein wichtiger Beitrag Hamburgs zur Energiewende.

In der **Mobilität** werden in Hamburg seit einigen Jahren im ÖPNV innovative Konzepte entwickelt. Bei den Bussen hat Hamburg das erklärte Ziel, ab 2020 nur noch solche mit emissionsfreien Antrieben anzuschaffen. Bei den U-Bahnen gibt es keine alternativen Antriebe. Neue Bahnen haben jedoch durch Leichtbauweise erheblich weniger Gewicht und benötigen daher weniger Energie. Beim Bremsen speisen neue Bahnen Energie zurück ins Stromnetz.

U-BAHNEN BENÖTIGEN
 DURCH LEICHTBAUWEISE
 WENIGER ENERGIE.



Die Hamburger S-Bahn fährt seit 2010 ausschließlich mit zertifiziertem Ökostrom. Zudem ist ein flächendeckender Ausbau der Ladeinfrastruktur angestrebt, mit dem Hamburg als Stadt die Elektromobilität fördern will. Das Laden der Fahrzeuge erfolgt ausschließlich über zertifizierten Grünstrom und wird über eine zentrale IT-Plattform von der Stromnetz Hamburg GmbH gesteuert und koordiniert. Im Jahr 2015 wurden zudem separate Kennzeichen für Elektroautos eingeführt, die damit seit dem 01.11.2015 von der Parkgebührenpflicht im gesamten Stadtgebiet befreit sind. Der ÖPNV wird durch verschiedene Sharing-Angebote ergänzt, um den Individualverkehr ressourcenschonender zu gestalten.

Bei der Schiff- und Luftfahrt ist der Umstieg auf nichtfossile Energieträger deutlich schwieriger. Es sind zwar erste Schritte in Richtung einer regenerativen Land- bzw. Bodenstromversorgung unternommen worden, jedoch sind in diesen Bereichen die Potenziale noch bei Weitem nicht ausgeschöpft.

Schulz, D., Weiß, T. (2018), Technischer Klimaschutz. In: von Storch, H., Meinke, I., Claußen, M. (Eds.), Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55379-4_15

Open-Access-Publikation unter einer CC-BY-NC-4.0-Lizenz, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>, Material wurde modifiziert.

15

Klimawandel und Nachhaltigkeit

Betrachtet man den Klimawandel nicht als Phänomen, das durch einzelne Gesetze zu regulieren oder durch einzelne Technologien zu lösen ist, sondern als komplexes Nachhaltigkeitsthema, dann erscheint eine umfassende Transformation notwendig. Für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft bedeutet dies weitergehende Nachhaltigkeitsanstrengungen als bislang realisiert.



Klimawandel und nachhaltige Entwicklung sind seit Ende der 1980er-Jahre zwei eigenständige globale Politikfelder, die jedoch eng miteinander verbunden sind. Kurz nach Veröffentlichung des ersten Sachstandberichtes zum Klimawandel des Weltklimarates IPCC wurde 1992 auf der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro die Agenda 21 verabschiedet. Darin wurden Leitlinien einer veränderten Wirtschafts-, Umwelt- und Entwicklungspolitik zur nachhaltigen Entwicklung für das 21. Jahrhundert vereinbart. Die Nachfolgeagenda zur nachhaltigen Entwicklung mit den 17 globalen Nachhaltigkeitszielen wurde durch die Völkergemeinschaft im Jahr 2015 bestätigt und trat im Januar 2016 als Agenda 2030 in Kraft. Im Rahmen dieser Entwicklung wurde bisher zweimal bzgl. einer nachhaltigen Entwicklung Bilanz gezogen und nächste Schritte vereinbart: auf dem Weltgipfel für eine nachhaltige Entwicklung in Johannesburg 2002 und auf dem sog. Rio+20-Gipfel 2012 in Rio de Janeiro. Dabei wurde jeweils konstatiert, dass sich die Welt insgesamt trotz einzelner Fortschritte weiterhin auf einem nichtnachhaltigen Entwicklungspfad befindet: Die Treibhausgasemissionen, insbesondere CO₂, sind trotz internationaler Klimapolitik parallel zum Weltsozialprodukt angestiegen. Eine relative Entkopplung von CO₂-Emissionen und Wirtschaftswachstum in einigen Ländern, wie z. B. Deutschland, wurde durch den Aufstieg der Schwellenländer überkompensiert. Ebenso wenig sind durchgreifende

Erfolge auf anderen Nachhaltigkeitsfeldern, wie etwa beim Biodiversitätsschutz, zu verzeichnen. Die inzwischen weitgehend als notwendig erachtete umfassende Dekarbonisierung von Wirtschaft und Gesellschaft bedeutet eine grundsätzliche Neuausrichtung von Energieproduktion, -verteilung und -konsum und stellt damit eine Herausforderung dar, die einfache, punktuelle Regulierungsansätze übersteigt.

Beim Klimaschutz sind sowohl Konsumenten bei Konsum- und Mobilitätsentscheidungen gefordert als auch Unternehmen bei der Gestaltung energieeffizienter Produktionsprozesse und Produkte.



Zudem müssen Politik und Verwaltungen die Entwicklung von Infrastrukturen befördern, die energieeffizientes Handeln ermöglichen. Auch die Anpassung an den Klimawandel lässt sich nicht allein durch die Einführung einzelner Technologien und regulativer Maßnahmen erreichen, sondern erfordert gemeinsame Entwicklungen unterschiedlichster gesellschaftlicher Akteure von der Stadtplanung über die Landwirtschaft bis hin zum Tourismus.

Da viele der globalen Probleme am besten auf lokaler Ebene zu lösen sind, wurde jede Kommune der 178 Unterzeichnerländer aufgerufen, eine eigene lokale Agenda 21 zu erarbeiten. In diesem Zusammenhang werden verstärkt partizipativ ausgerichtete Experimente in Nischen initiiert, von denen großräumige Systeminnovationen erhofft werden. Die Idee, dass Nachhaltigkeitsinnovationen aus Nischen heraus entstehen, wird in Realexperimenten bzw. Reallaboren weiter verfolgt. Es sollen Möglichkeitsräume für transformative Praktiken zur nachhaltigen Entwicklung geschaffen werden. In Hamburg gab es um die Jahrtausendwende in fünf von sieben Bezirken Lokale-Agenda-21-Initiativen, in denen sich organisierte Zivilgesellschaft und Bürger mit Nachhaltigkeitsthemen auseinandersetzten. Aufgrund unzureichender bzw. nicht vorhandener struktureller Unterstützung von Politik und Verwaltung konnten sich die meisten jedoch nicht dauerhaft etablieren. Jedoch wurde 1996

der „Zukunftsrat Hamburg“ gegründet. Mit über 100 Mitgliedsorganisationen aus Zivilgesellschaft und Wirtschaft agiert er im Sinne einer Lokalen Agenda 21 sowie der Agenda 2030 und trägt als Kritiker, Treiber und Initiator von Nachhaltigkeitsinitiativen zu den Nachhaltigkeitszielen für ein zukunftsfähiges Hamburg bei. Dabei übernimmt er teilweise auch Aufgaben, die in den Verantwortungsbereich staatlicher Nachhaltigkeitspolitik fallen (sollten). Hier sind insbesondere das indikatorengestützte Nachhaltigkeitsmonitoring und die darauf gründende Nachhaltigkeitsberichterstattung zu nennen.

Heinrichs, H. (2018), Klimawandel, Nachhaltigkeit und Transformationsgestaltung. In: von Storch, H., Meinke, I., Claußen, M. (Eds.), Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55379-4_16

Open-Access-Publikation unter einer CC-BY-NC-4.0-Lizenz, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>, Material wurde modifiziert.

Bildnachweis

- © mahey/Fotolia (S. 9)
 © Sakchai – stock.adobe.com (S. 13)
 © Frédéric Prochasson/Fotolia (S. 14)
 © Tanja Esser – stock.adobe.com (S. 16)
 © Mente – stock.adobe.com (S. 20)
 © Amphibol – stock.adobe.com (S. 23)
 © Pixabay (S. 27)
 © Scubaluna – stock.adobe.com (S. 41)
 © Martin Stock /LKN-SH (S. 44)
 © Ricardo Meinke (S. 60)
 © Claus Schlüter – stock.adobe.com (S. 63)
 © Oticki – stock.adobe.com (S. 65)
 © Kletr – stock.adobe.com (S. 67)
 © Stadelpeter – stock.adobe.com (S. 87)
 © Mathisprod – stock.adobe.com (S. 88)
 © Michael Tieck – stock.adobe.com (S. 91)
 © Dingethal.design – stock.adobe.com (S. 97)
 © Gina Sanders – stock.adobe.com (S. 99)
 © Ruslanshug – stock.adobe.com (S. 105)
 © Gentoo Multimedia – stock.adobe.com (S. 113)
 © Billionphotos.com – stock.adobe.com (S. 119)
 © Cherylvb – stock.adobe.com (S. 135)
 © Cornelia Wohlrab – stock.adobe.com (S. 139)
 © Evrymmt – stock.adobe.com (S. 147)
 © Insa Meinke (S. 25, S. 59, S. 76, S. 79, S. 117, S. 125, S. 150)
 © Michael Fritz (Titel, S. 2/3, S. 4/5, S. 7, S. 19, S. 30, S. 35, S. 39, S. 46, S. 48, S. 53, S. 57, S. 70, S. 73, S. 83, S. 93, S. 95, S. 101, S. 109, S. 114, S. 129, S. 131, S. 137, S. 141, S. 145)



Herausgeberin und Redaktion

Dr. Insa Meinke

Leiterin des Norddeutschen Küsten- und Klimabüros

Helmholtz-Zentrum Geesthacht

Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH

Max-Planck-Str. 1

21502 Geesthacht

Telefon 04152 87-1868

insa.meinke@hzg.de

www.kuesten-klimabuero.de

Gestaltung

Michael Fritz Kommunikationsdesign, Hamburg

www.herr-fritz.de

Auflage

3.000

Geesthacht, 2020

Gefördert durch



Co-development of place-based
Climate
Services for action

ISBN 978-3-940923-08-0

Zum Inhalt

Der Klimawandel hat im letzten Jahrhundert zu einer Erwärmung von knapp einem Grad im globalen Mittel geführt. Auch wenn das ambitionierte Ziel des Pariser Klimaabkommens erreicht wird, die Erwärmung bis 2100 auf 1,5 Grad gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen, setzt sich die Wirkung dieser Erwärmung weiter fort und entfaltet sich auf unterschiedliche Weise in den verschiedenen Wirtschafts- und Naturräumen. Die nötigen Anpassungen müssen daher vor allem vor Ort auf regionaler Ebene entwickelt werden. Gleichzeitig sollten auch in Norddeutschland die Emissionen effektiv reduziert werden. Der „Hamburger Klimabericht“ des KlimaCampus Hamburg stellt als wissenschaftliche Grundlage den aktuellen Forschungsstand zusammen und verdeutlicht die erforderlichen Reaktionen und Handlungsoptionen in Bezug auf den Klimawandel in Norddeutschland. Mehr als 70 Autoren haben die Forschungsergebnisse systematisch zusammengetragen. Alle Beiträge wurden einem wissenschaftlichen Begutachtungsprozess unterzogen, der von einem Lenkungsausschuss überwacht wurde.

Dieses Handbuch ist ein Auszug aus dem Hamburger Klimabericht, der teilweise durch die Informationsangebote des Norddeutschen Küsten- und Klimabüros ergänzt wurde. Das Norddeutsche Küsten- und Klimabüro am Helmholtz-Zentrum Geesthacht bündelt seit 2006 Forschungsergebnisse aus der Küsten- und Klimaforschung für Norddeutschland und bereitet diese für Entscheidungsträger aus Politik, Wirtschaft und Verwaltung auf. Der gesamte Entstehungsprozess des Hamburger Klimaberichtes wurde vom Norddeutschen Küsten- und Klimabüro koordiniert.

Der Bericht ist eine Open-Access-Publikation im Springer-Verlag unter einer CC-BY-NC-4.0-Lizenz: von Storch, H., Meinke, I., Claußen, M. (Eds.) (2018), Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-55379-4>

